

Evaluación de servicios ecosistémicos de soporte y aprovisionamiento en herramientas de manejo del paisaje en el municipio de Tuluá del departamento del Valle del Cauca.

Natalia Tovar Barona

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA
Ingeniería Ambiental
Palmira
2020**

Evaluación de servicios ecosistémicos de soporte y aprovisionamiento en herramientas de manejo del paisaje en el municipio de Tuluá del departamento del Valle del Cauca.

Natalia Tovar Barona

Tutor:

Milton Cesar Ararat Orozco

Proyecto aplicado como requisito para optar al título profesional de Ingeniero Ambiental

**Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD
Escuela de Ciencias Agrícolas, Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA
Ingeniería Ambiental
Palmira
2020**

Nota de aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

Nota obtenida:

Agradecimientos

Mis agradecimientos a mi familia nuclear por el apoyo incondicional para el logro de esta meta.

A todas las personas que estuvieron involucradas en el desarrollo del presente proyecto aplicado, y contribuyeron al cumplimiento de los objetivos establecidos.

Al Doctor Milton Cesar Ararat Orozco por proporcionar sus conocimientos y experiencia, a través de diferentes herramientas y canales, entregado una orientación efectiva.

A la universidad Nacional Abierta y a Distancia (Unad) y al Cead Palmira por la formación académica prestada, donde adquirí y reforcé conocimiento claves para el sector laboral.

Resumen

La problemática de la deforestación generada por el cambio de uso de suelo, acompañada en su mayoría por procesos productivos poco sostenibles, que conlleva a la degradación, división y pérdida de los ecosistemas naturales. Donde los diferentes efectos derivados de esta problemática han ocasionado la pérdida total o parcial de los servicios ecosistémicos, ofreciendo un panorama poco favorable para la sostenibilidad de la vida en la tierra.

El presente proyecto aplicado tiene como objetivo evaluar los servicios ecosistémicos del suelo y flora (servicios de soporte y de aprovisionamiento) en herramientas de manejo del paisaje en el corregimiento de Barragán, zona rural del municipio de Tuluá del departamento del Valle del Cauca. Para el estudio se utilizarán diferentes metodologías aplicadas en pruebas de campo y de laboratorio, las cuales miden variables asociadas a la composición de las comunidades vegetales (composición florística) y variables relacionadas con atributos ecológicos asociados a la estabilidad del suelo (erosión).

Los datos obtenidos del muestreo de campo para la identificación de especies en la zona de estudio, muestran una relación entre las características de las plantas y los servicios ecosistémicos asociados a las herramientas de manejo del paisaje evaluadas. De la misma manera, las propiedades fisicoquímicas encontradas en la zona, muestran procesos ecológicos positivos para las tres muestras de suelo analizadas, considerando el ciclo del agua, el flujo de energía, la producción primaria, la formación del suelo y el ciclado de nutrientes.

Estos resultados indican que las diferentes herramientas de manejo del paisaje implementadas en la zona de estudio, presentan un impacto favorable en los servicios ecosistémicos de soporte y aprovisionamiento (suelo y flora).

Este proyecto aplicado hace parte de las actividades asociadas al semillero de investigación en producción agropecuaria sostenible SIPAS de la Escuela de Ciencias Agrícolas Pecuarias y del Medio Ambiente ECAPMA

Palabras claves: Degradación, ecosistemas naturales, servicios ecosistémicos, suelo, flora, herramientas de manejo del paisaje, restauración ecológica.

Abstract

The problem of deforestation generated by the change in land use, mostly accompanied by unsustainable production processes, which leads to the degradation, division and loss of natural ecosystems. Where the different effects derived from this problem have caused the total or partial loss of ecosystem services, offering an unfavorable picture for the sustainability of life on earth.

The objective of this project is to evaluate the ecosystem services of soil and flora (support and provisioning services) in landscape management tools in the district of Barragán, rural area of the municipality of Tuluá in the department of Valle del Cauca. For the study, different methodologies applied in field and laboratory tests will be used, which measure variables associated with the composition of plant communities (floristic composition) and variables related to ecological attributes associated with soil stability (erosion).

The data obtained from the field sampling for the identification of species in the study area, show a relationship between the characteristics of the plants and the ecosystem services associated with the landscape management tools evaluated. In the same way, the physicochemical properties found in the area show positive ecological processes for the three soil samples analyzed, considering the water cycle, energy flow, primary production, soil formation and nutrient cycling.

These results indicate that the different landscape management tools implemented in the study area have a favorable impact on the ecosystem support and provisioning services (soil and flora).

This project is part of the activities associated with the SIPAS sustainable agricultural production research seedbed of the ECAPMA School of Agricultural and Livestock Sciences.

Keywords: Degradation, natural ecosystems, ecosystem services, soil, flora, landscape management tools, ecological restoration.

Tabla de contenido

1. Planteamiento del problema.....	13
2. Justificación	14
3. Objetivos	18
3.1 Objetivo general.....	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. Marco conceptual y teórico.....	18
4.1 Pérdida y transformación ecosistémica	21
4.2 Planeación del paisaje rural.....	23
4.3 Herramientas de manejo del paisaje HMP - En la actualidad.....	24
4.3.1 Aislamiento de protección de áreas naturales (AP)	26
4.3.2 Sistema silvopastoril (SSP).....	27
4.3.3 Bosque de uso doméstico (BUD).....	27
4.4 Legislación Colombiana Ambiental.....	28
5. Diseño metodológico	30
5.1 Localización y descripción de la zona de estudio	31
5.1.1 Descripción de la zona de estudio.....	32
5.2 Metodología Fase 1.....	36
5.2.1 Selección de variables para evaluar servicios ecosistémicos (SE) en herramientas de manejo de paisaje (HMP).....	36
5.2.2 Método de muestreo para determinar la composición florística.	36
5.2.3 Método de muestro de suelos en campo para determinación de las propiedades químicas y físicas.	38
5.2.4 Métodos de laboratorio para determinar las propiedades químicas y físicas del suelo.....	42
5.3 Metodología Fase 2.....	44
5.3.1 Reconocimiento de las herramientas de manejo del paisaje (HMP) en la zona de estudio	44
5.3.2 Época de recolección de muestras.....	44
5.4 Metodología Fase 3.....	45
5.4.1 Análisis de información	45
5.4.2 Composición florística.	45
5.4.3 Propiedades químicas y físicas del suelo	46
5.5 Matriz de Vester.....	46

5.5.1 Interpretación de los cuadrantes.....	49
6 Resultados y discusión.....	50
6.1 Composición florística mediante caracterización vegetal (Flora).....	50
6.1.1 Zona de estudio Aislamiento de protección (AP)	50
6.1.2 Zona de estudio Sistema Silvopastoril (SSP).....	52
6.1.3 Zona de estudio Bosque de Uso Doméstico.....	52
6.1.4 Análisis de Clusters (Dendrograma)	54
6.2 Determinación de las propiedades químicas y físicas.....	55
6.2.1 Determinación biológica en suelo (Macrofauna).....	66
6.3 Identificación de diferentes problemáticas para la matriz de Vester	69

Lista de tablas

Tabla 1. Tipos de intervención según el objetivo del Plan Nacional de Restauración.....	25
Tabla 2. Principios ambientales de la constitución política.....	28
Tabla 3. Variables para SE en HMP.....	36
Tabla 4. Métodos y parámetros para determinación de las propiedades químicas y físicas.....	43
Tabla 5. Color del suelo.....	57
Tabla 6. Valores de porcentaje de carbono orgánico.....	59
Tabla 7. Tipos de suelo según los valores de pH obtenidos y valores de C.e.....	60
Tabla 8. Valores de densidad aparente y densidad real.....	62
Tabla 9. Cantidad de especies (macrofauna) en monolito de suelo (623 cm ³).....	66
Tabla 10. Índice de dominancia de Simpson.....	67

Lista de figuras

Figura 1. Diseño en fases metodológicas.....	30
Figura 2. Ubicación del municipio de Tuluá Valle del Cauca.....	32

Figura 3. Ubicación de la finca “Lusitania” con las herramientas de manejo del paisaje AP, SSP, BUD. Zonificación de las herramientas.....	33
Figura 4. Matriz de Vester (Problemas temática seleccionada).....	47
Figura 5. Matriz de Vester (activos – pasivos).....	47
Figura 6. Interpretación de cuadrantes en la matriz de Vester.....	49
Figura 7. Dendrograma distancia euclidiana.....	55
Figura 8. Textura del suelo. Porcentaje de partículas (arenas, limos, arcillas).....	56
Figura 9. Porcentaje de materia orgánica.....	58
Figura 10. Calificación del porcentaje de materia orgánica.....	58
Figura 11. Densidad aparente.....	61
Figura 12. Curva de retención de humedad.....	63
Figura 13. Valores orientativos de la porosidad total de un suelo y su interpretación.....	65
Figura 14. Relación porcentaje de porosidad total y la humedad gravimétrica.....	66
Figura 15. Representación gráfica de los resultados de la matriz de Vester.....	70

Lista de fotos

Foto 1. Toma de datos directamente en campo.....	37
Foto 2. Toma de datos directamente en campo.....	38
Foto 3. Eliminación de material vegetal y proceso de remoción de suelo para la toma de muestra.....	39
Foto 4. Eliminación del exceso de suelo para conformar la muestra de suelo.....	39
Foto 5. Obtención de la muestra de suelo.....	40
Foto 6. Apertura del cuadrante del suelo con el empleo de una palin.....	41
Foto 7. Cuadrante de suelo de 25 x 25 x 20 cm.....	41
Foto 8. Reconocimiento en campo de individuos hallados.....	42
Foto 9. Recolección de individuos no identificados en envases de plástico.....	42

Foto 10. Área de influencia AP (3500 m.s.n.m), arbustales y arboles emergentes. Tuluá (Valle del Cauca).....	51
Foto 11. Pastos-arbustales y arbustales en el SSP (2626 m.s.n.m). Tuluá (Valle del Cauca).....	52
Foto 12. Área de influencia BUD (2643 m.s.n.m), arbustales y arbolitos emergentes dispersos. Tuluá (Valle del Cauca).....	53
Foto 13. Área de influencia BUD (2643 m.s.n.m), arbustales y arbolitos emergentes dispersos. Tuluá (Valle del Cauca).....	53

Lista de anexos

Anexo 1. Descripción de metodología de laboratorio.....	81
Anexo 2. Materiales y equipos de laboratorio.....	89

1. Planteamiento del problema

El crecimiento de la deforestación resultado de actividades antropogénicas, generada por el cambio de uso de suelo para agricultura o ganadería extensiva, son considerados la principal causa de la deforestación. Donde a su vez estimula la generación del calentamiento global, ocasionando un fenómeno conocido como cambio climático, el cual provoca consecuencias perjudiciales sentidas a nivel mundial. El impacto no se refleja solo a nivel mundial con la modificación del clima sino a nivel local, regional y nacional aportando a la pérdida de biodiversidad propia de la zona, daño a la calidad de los suelos (erosión del suelo), afectación de fuentes hídricas y presentando un impacto adverso en la fijación de dióxido de carbono (CO₂).

En el año 2017 el Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt en el boletín de prensa, reporto por medio de la información adquirida de los Libros Rojos de Colombia, la resolución 092 de 2014 y los criterios establecidos por la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN), la estimación de cerca de 1200 especies amenazadas en el país entre especies de plantas y especies de animales vertebrados e invertebrados, derivado de un conjunto de factores que ocasionan pérdida de biodiversidad en Colombia, entre ellos la deforestación (Instituto Humboldt , 2017)

Colombia es considerada uno de los países con mayor recurso hídrico en el mundo, siendo abundante en precipitaciones anuales y con una propiedad de cinco grandes áreas hidrográficas representadas en el territorio nacional continental. En el Estudio Nacional del Agua de 2014, elaborado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se encuentra relacionada la demanda hídrica del país, que alcanzó 35.987 millones

de metros cúbicos (m³), donde el sector agrícola utiliza 16.760,33 millones de m³, correspondiente al 46,6 % del total del volumen de agua que se utiliza en el país (IDEAM, 2015)

Los resultados ofrecen un análisis desalentador con relación a la situación de los recursos hídricos en Colombia, el manejo inadecuado de las fuentes hídricas, la distribución de los usos de agua por sectores económicos y uso doméstico y permitir de manera desordenada el cambio de bosques por áreas de pastos disminuye la disponibilidad de agua en los ecosistemas que son necesarios para la sostenibilidad. La presentación de datos de pérdida de biodiversidad, afectación de fuentes hídricas y generación de gases de efecto invernadero, hacen parte de los efectos ocasionados por la deforestación, los cuales nos permiten hacer una revisión consiente del deterioro a los ecosistemas y el impacto generado al planeta tierra.

Pregunta de investigación

¿Cuál es el impacto que ejercen las herramientas de manejo del paisaje en los servicios ecosistemicos de soporte y aprovisionamiento (suelo y flora), bajo las condiciones del corregimiento de Barragán, zona rural del municipio Tuluá del departamento del Valle del Cauca?

2. Justificación

La Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, definida como un ente universitario autónomo del orden nacional, con régimen especial en los términos de la Ley 30 de 1992, personería jurídica, autonomía académica, administrativa y financiera, patrimonio independiente y capacidad para gobernarse, vinculado al Ministerio de Educación Nacional.

Desde la dinámica de formación académica, apoya la formación de carácter científico o investigativo, fortaleciendo el desarrollo integral de las personas en el ámbito personal y profesional incentivando espíritu emprendedor, comprendiendo la importancia de crear una simbiosis entre especies vivas para lograr un desarrollo social sostenible y sustentable.

De esta manera, la UNAD enfocada en proyectos que fomentan la investigación y evaluación de problemáticas ambientales generada por diversas actividades antrópicas y la capacidad para evaluar el impacto y riesgo ambiental generado por proyectos, obras o actividades desarrollados por el sector público y privado, es importante la incorporación de estrategias que permitan la comprensión, aplicación y evaluación de las herramientas de manejo del paisaje enfocado en la restauración ecológica, como técnica de control y minimización del problema de deforestación causantes de múltiples impactos al medio ambiente.

El paisaje como representación de visualización, aplicado en diversos campos de estudio, donde principalmente se destacan los aspectos visuales espaciales que generalmente conllevan a la composición de un espacio u objeto, considera la creación de la geografía. Desde el punto de vista geográfico el paisaje corresponde al resultado de la interacción de diferentes factores inmersos en un área de la superficie terrestre que posee aspecto visual en el espacio.

La dinámica natural del paisaje está siendo modificada por diversos factores directos e indirectos propios de las comunidades, mediante la actuación continua de procesos sociales, que lo sitúan en un rango de complejidad y presión que lo llevan a la generación de un impacto al medio ambiente como a la comunidad en general.

La transformación del paisaje resulta de la problemática de la deforestación, la cual trae consigo diversas causas negativas para los ecosistemas y al mismo tiempo para las comunidades, entendiendo que este problema altera el recurso hídrico, con ello dificulta en el abastecimiento de agua de los poblados. La deforestación en Colombia considera retos muy importantes. En el año 2015 la Organización de Naciones Unidas (ONU) adoptó los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) de la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible.

La participación de Colombia en el cumplimiento de los Objetivos como Estados Miembros de la ONU, amplía la brecha en la construcción de nuevas generaciones y la adopción de estrategias que promuevan la protección del medio ambiente, y al mismo tiempo el crecimiento a nivel socioeconómico y cultural. En este sentido, Colombia debe de apuntar al cumplimiento de los Objetivo de Desarrollo Sostenible 13, acción por el clima y 15, vida de ecosistemas terrestres como aporte del acuerdo establecido para el desarrollo sostenible. Donde el propósito de los objetivos 13 y 15 consideran “Tomar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos (implementando los acuerdos adoptados en el foro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático)” y “Proteger, restaurar y promover la utilización sostenible de los ecosistemas terrestres, gestionar de manera sostenible los bosques, combatir la desertificación y detener y revertir la degradación de las tierras, y frenar la pérdida de diversidad biológica” respectivamente. (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MINAMBIENTE], 2009)

Los indicadores nacionales para el objetivo número 13, acción por el clima, muestran una línea base de tasa de cobertura bruta en educación del 0,0%, con metas nacionales trazadas para el 2030 de 20%. En cuanto al objetivo número 15, vida de ecosistemas

terrestres, muestran una línea base de 276.669, con metas nacionales trazadas para el año 2018 de 90.000 y para el año 2030 de 0. ([MINAMBIENTE], 2009)

En este sentido, es necesario desarrollar estudios acerca de las condiciones del suelo tanto física (textura, color) como química (conductividad eléctrica (CE); Porcentaje de materia orgánica (% M.O.); Porcentaje de carbono orgánico (% C.O.); Además es imprescindible estudiar procesos de degradación biológica: organismos del suelo macro - invertebrados. De la misma forma realizar una revisión de la vegetación como servicio de aprovisionamiento.

Por lo tanto, este proyecto aplicado posibilita evaluar los servicios ecosistémicos de las herramientas de manejo del paisaje, bajo condiciones del corregimiento de Barragán, zona rural del municipio de Tuluá, cuyas variables se relacionaron con la diversidad de la vegetación como servicio de aprovisionamiento y la calidad del suelo como servicio de soporte. Además de identificar problemáticas asociadas a las herramientas de manejo del paisaje, mediante la aplicación de una matriz de vester.

De la misma manera, el proyecto permite el desenvolvimiento de la estrategia de carácter investigativo adoptada por la Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD y muestra las capacidades adquiridas en el proceso académico formativo, mediante el desarrollo de las competencias alcanzadas en el programa de ingeniería ambiental. En este sentido la importancia de analizar el impacto que ejerce las herramientas de manejo del paisaje en la recuperación de zonas degradadas, por factores directos e indirectos que presenta el cambio de uso del suelo en el sector agropecuario.

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar servicios ecosistémicos servicios de soporte y de aprovisionamiento (suelo y flora) en herramientas de manejo del paisaje en el corregimiento de Barragán, zona rural del municipio de Tuluá del departamento del Valle del Cauca.

3.2 Objetivos específicos

- Caracterizar la flora como servicio ecosistémico de aprovisionamiento, asociadas a las herramientas de manejo del paisaje.
- Describir e interpretar las propiedades químicas y físicas del suelo como servicio ecosistémico de soporte, asociadas a las herramientas de manejo del paisaje.
- Componer una matriz se Vester para identificar problemáticas asociadas a las herramientas de manejo del paisaje.

4. Marco conceptual y teórico

El concepto de ecosistema fue introducido en el año 1935 por Arthur George Tansley, botánico y pionero en la ciencia de la ecología, donde definía el ecosistema como “la unidad fundamental ecológica constituida por la interrelación entre una biocenosis y un biotopo”. Lo cual hacía referencia a la relación que presenta una comunidad de organismos vivos con el medio biótico y abiótico. Los ecosistemas mantienen una serie de dependencia recíproca de los organismos dentro del mismo. Los ecosistemas son considerados de gran importancia, debido a que generan diversos servicios, lo que hacen que estén directamente relacionados con la vida en el planeta tierra.

El diccionario de la real academia española RAE, define el término servicio como “la acción y efecto de servir”, donde se entiende como un beneficio que se le otorga a un ser vivo o un provecho o función que ejerce una cosa. En este sentido podemos afirmar que los ecosistemas nos ofrecen diversos servicios.

Los servicios ecosistémicos vinculan los beneficios que alcanzan los seres humanos de los ecosistemas. Una definición más técnica es la de Quijas et al. (2010): “los servicios ecosistémicos son los componentes de los ecosistemas que se consumen directamente, que se disfrutan, o que contribuyen, a través de interacciones entre ellos, a generar condiciones adecuadas para el bienestar humano” El concepto de estudio de los servicios ecosistémicos se precisa en el año 1997, cuando se publicó el libro “Los beneficios de la naturaleza” (Daily1997), logrando captar el interés de la comunidad científica, al reconocer el impacto que los seres humano causan sobre los ecosistemas, identificando los principales individuos que atentan contra la sostenibilidad de los beneficios ofrecidos por los ecosistemas.

El creciente interés por los servicios ecosistémicos se convierte en el centro de la iniciativa mundial conocida como la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (MEA, 2005) La cual identifica tres tipos de servicios ecosistémicos, definidos como: Servicios de *suministro o aprovisionamiento*, los cuales se obtienen del medio ambiente. Comprenden los recursos naturales, como: agua, fuentes de energía, alimentos, materiales de construcción o medicinas. Servicios de *regulación*, tiene en cuenta las condiciones en la que los seres vivos habitamos, regulando los impactos derivados de actividades productivas. Estos servicios incluyen en la regulación climática, la regulación de inundaciones, la calidad del agua, entre otras. Los servicios *culturales*, son beneficios que se crean del aporte de los ecosistemas como prácticas de recreación, ecoturismo, estéticos. Considerados servicios cuyos beneficios

pueden ser tangibles o intangibles. Y los servicios de *soporte o apoyo*, los cuales realizan procesos ecológicos necesarios para la existencia de los demás servicios ecosistémicos, tales como la producción primaria, la formación del suelo y el ciclado de nutrientes. Este último, se distingue por ser un grupo adicional de servicios, considerado en la evaluación de los ecosistemas del Milenio (MEA 2003)

La importancia de los servicios de aprovisionamiento considera el correcto desenvolvimiento de las diferentes actividades productivas en un lugar específico, fundamentales para la obtención de bienes generalmente adquiridos por los propietarios del bosque o las comunidades que los manejan. La enorme diversidad de plantas, animales y microorganismo de los ecosistemas, que ofrecen alimentos, medicina, materiales de construcción, fuentes energéticas entre otras. La correlación entre los servicios ecosistémicos depende de la capacidad que requieren los ecosistemas para realizar sus funciones. En mayor proporción los sistemas naturales que los agroecosistemas, que modifican el equilibrio de las zonas rurales y su disposición de provisión de diversos servicios ecosistémicos.

Por otra parte es necesario el uso y manejo adecuado del suelo como un servicio de soporte, ya que de los procesos ecológicos que realiza el suelo, depende la existencia de los demás servicios ecosistémicos. Este servicio soporta las actividades humanas y la fuente de materia prima.

En el marco tendencial de sostenibilidad para los sistemas socio-ecológicos agrarios cobran gran importancia las conclusiones y recomendaciones hechas por Lavelle et al., (2014): la organización del territorio agrícola debe partir de considerar la importancia de la red de bosques de galería y de corrientes y cuerpos de agua; el monitoreo de la calidad del

suelo y de la provisión de servicios de los ecosistemas debe hacerse a escala de paisaje a lo largo del tiempo, para detectar degradación del suelo, evitar impactos irreversibles, aumentar la comprensión de los determinantes de los servicios ecosistémicos y permitir el diseño de paisajes agrícolas ecoeficientes, especialmente aplicables a la situación actual de crecimiento agroindustrial acelerado en la altillanura colombiana. (Caro y Mora, 2015, p.245)

4.1 Pérdida y transformación ecosistémica.

En la actualidad la deforestación en Colombia continúa aumentando, el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) en el reporte anual que realiza desde el año 2013, indico un aumento del 23% en comparación con el año 2016, determinando para el año 2017, un promedio anual de superficie deforestada (ha/año) de 219.973 (IDEAM, 2017). Los departamentos con mayor incidencia de superficie deforestada registrando el 81% del país son: Caquetá, Guaviare, Meta, Antioquia, Putumayo y Chocó respectivamente. Donde el departamento de Caquetá representa el mayor porcentaje de pérdida de cobertura vegetal, con el 27%.

La importancia de los ecosistemas como fuente de sustento y sostenibilidad de la humanada, establece un valor esencial que es necesario proteger para gozar de los servicios ecosistémicos tales como provisión de agua limpia, alimentación, regulación climática, fertilidad del suelo, desarrollo cognitivo y recreativo, entre otras.

En la actualidad los ecosistemas han sufrido gradualmente transformaciones significativas, llevando a la examinación de procesos productivos e identificación de factores e individuos causantes de la pérdida de ecosistemas. El cambio en el uso del territorio y la deforestación, como principal factor desencadenante de la transformación de ecosistemas.

Donde algunas de las perturbaciones según el DANE (2007) la ocupación de tierras a nivel nacional involucra tres problemas: la ocupación agropecuaria de laderas empinadas y ríos, los conflictos por la ocupación del suelo de actividades agrícolas y pecuarias, y la ocupación de tierras con productividad agropecuaria marginal expuestas a la violencia, por parte de comunidades pobres. Además, se estima que el 73,3% de la deforestación en Colombia es causada por la expansión de la frontera agrícola y la colonización, siendo la conversión para uso ganadero la principal causa (Guevara, 2002)

Los efectos repercuten en el riesgo de pérdida de los servicios ecosistémicos como principal fuente de sustento de los seres vivos, ocupando gran importancia en la nueva era. Además del perjuicio a los beneficios ofrecidos por los ecosistemas, se suma la pérdida de especies nativas (fauna-flora) y la degradación del paisaje como patrimonio cultura. La transformación de los ecosistemas ha creado una nueva perspectiva de los entornos, teniendo en cuenta la situación actual que ocupan los ecosistemas en todo el territorio colombiano. Desde el punto de vista de observación se percibe la alteración del paisaje. El concepto de paisaje se insinúa en la geografía clásica desarrollada por Humboldt en el siglo XIX, donde remite a “unidades naturales existentes” (Mateo y Vicente da Silva, 2007, 79); noción que se enfocaba en el conjunto de elementos naturales en un espacio determinado. (Poveda, 2016)

Este proceso de transformación ha creado nuevos conceptos como lo son los paisajes rurales, relacionados con las alternativas y soluciones a las modificaciones ocurridas a causa del cambio en el uso de suelo y la deforestación, que incluye los comportamientos antropogénicos como principal causa de la pérdida y transformación de los ecosistemas.

4.2 Planeación del paisaje rural.

En Colombia el cambio de grandes cantidades de cobertura vegetal natural por sistema de producción e infraestructura, ha ocasionado la fragmentación de procesos ecológicos y explotación de los recursos biológicos, los cuales han creado los denominados paisajes rurales.

Los paisajes rurales son porciones de la superficie terrestre donde la matriz del paisaje la constituye un tipo particular de cobertura antrópica o un mosaico de sistemas productivos con características socioeconómicas y biológicas propias. (Lozano-Zambrano, 2009) En Colombia una buena proporción de la superficie nacional se encuentra actualmente en áreas de paisajes rurales dominadas por agroecosistemas (Arango et al. 2003). Sin embargo, el grado de transformación de regiones como Caribe (82,3%), Andes (61,8%) y Orinoquia (59,9%) (Arango et al. 2003) revelan cifras dramáticas según las cuales los procesos antrópicos han convertido extensas zonas en paisajes rurales. (Lozano-Zambrano, 2009)

La importancia de la planeación de los paisajes rurales orientados a la conservación es fundamental para la organización del territorio y la creación conjunta de obras ordenadas y concertadas enfocadas en la recuperación y conservación de los beneficios ofrecidos por los ecosistemas que se generan en toda la extensión rural del territorio colombiano.

En Colombia existe el Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas (MADS, 2015), el cual establece acciones para combatir los efectos ocasionados por la dinámica de producción humana, mediante actividades de restauración ecológica, rehabilitación y recuperación.

4.3 Herramientas de manejo del paisaje HMP - En la actualidad

La restauración es una estrategia de carácter interdisciplinario, en la cual se articula el conocimiento científico para dar respuestas a procesos de gestión y manejo de los ecosistemas, ante las necesidades de restablecer los ecosistemas degradados y prevenir futuros daños (Hobbs y Harris, 2001).

Considerar la ecología en las prácticas de la restauración es fundamental desde las fases iniciales de cualquier intervención, ya que es necesario entender los procesos que ocurren en los diferentes componentes del ecosistema, como las interacciones entre la biota (flora - fauna - microorganismos), la geomorfología, los suelos, la hidrología, y los procesos que giran alrededor del uso de la tierra (naturales y antrópicos), que en conjunto determinan el estado actual del ecosistema. (MADS, 2015).

La Sociedad Internacional para la Restauración Ecológica (SER) define la restauración como el proceso de asistir el restablecimiento de un ecosistema que ha sido degradado, dañado o destruido mediante estudios sobre estructura, composición y funcionamiento del ecosistema degradado y de un ecosistema de referencia que brinde información del estado que se quiere alcanzar o del estado previo al disturbio, que servirá de modelo para planear un proyecto. (MADS, 2015). En este sentido la restauración ecológica busca situar al ecosistema en un enfoque de recuperación, con el objetivo que este pueda permanecer en el tiempo.

La restauración ecológica tiene otras dimensiones además de la ecológica, como la social, política, económica y ética (Vargas, 2007). Donde concibe el mejoramiento de las condiciones para las comunidades, lograr que la restauración sea una práctica unida a la conservación de ecosistemas y transformar las conductas negativas hacia el entorno natural.

El Plan Nacional de Restauración reúne tres enfoques de implementación: la restauración ecológica, la rehabilitación y la recuperación, que dependen del tipo de intervención, del nivel de degradación del área y del objetivo de restauración. (MADS, 2015).

1. Restauración Ecológica (ecological restoration): restablecer el ecosistema degradado a una condición similar al ecosistema predisturbio respecto a su composición, estructura y funcionamiento. Además el ecosistema resultante debe ser un sistema autosostenible y debe garantizar la conservación de especies, del ecosistema en general así como de la mayoría de sus bienes y servicios.

2. Rehabilitación ecológica (rehabilitation): llevar al sistema degradado a un sistema similar o no al sistema predisturbio, éste debe ser autosostenible, preservar algunas especies y prestar algunos servicios ecosistémicos.

3. Recuperación ecológica (reclamation): recuperar algunos servicios ecosistémicos de interés social. Generalmente los ecosistemas resultantes no son autosostenibles y no se parecen al sistema predisturbio. (MADS, 2015).

El Plan Nacional de Restauración define los tipos de intervención considerando diferentes aspectos. La tabla 1, describe los tipos de intervención según el objetivo.

Tabla 1. Tipos de intervención según el objetivo del Plan Nacional de Restauración

¿CUÁL ES EL OBJETIVO?	QUÉ HACER
Iniciar o acelerar procesos de restablecimiento de un área degradada, dañada o destruida en relación a su función, estructura y composición.	Restauración Ecológica (RE)
Reparar la productividad y/o los servicios del ecosistema en relación con los atributos funcionales o estructurales.	Rehabilitación (REH)

Retornar la utilidad del ecosistema para la prestación de servicios ambientales diferentes a los del ecosistema original, integrándolo ecológica y paisajísticamente a su entorno. Recuperación o reclamación (REC)

Fuente: el Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas (MADS, 2015)

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC, en el reconocimiento a una gestión que posibilite el manejo integral de sistemas ecológicos y sociales asociados, así como la conservación y cuidado de los recursos naturales, con jurisdicción comprendida en gran parte del Departamento del Valle del Cauca, realiza el diseño e implementación de herramientas de manejo del paisaje (HMP), basadas en el Plan Nacional de Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas (MADS, 2015).

Las estrategias de restauración diseñadas y establecidas como herramientas de manejo del paisaje (HMP) tienen como principal objetivo aumentar la conectividad y proveer hábitat para la biodiversidad nativa. Aportando al crecimiento y mejoramiento del hábitat y la conectividad, y conservación de la biodiversidad. Las principales estrategias utilizadas son:

4.3.1 Aislamiento de protección de áreas naturales (AP)

Áreas naturales de conservación del predio donde haya acceso al pastoreo de animales requerirán de la instalación de aislamiento para su protección. Los aislamientos de protección deben aportar a la conectividad de zonas clave identificadas en la etapa de diseño de las HMP. El aislamiento de protección está conformado por postes de madera, de 2 metros de largo, aserrados a dos, tres y cuatro caras, hincados cada 2.5 metros, con instalación de cuatro hilos de alambre de púas calibre 12. Previo hincado de postes, se debe impermeabilizar los postes a 80 centímetros, para garantizar la durabilidad del poste en el tiempo. Dado que en

muchos casos se restringe el acceso de los animales a las fuentes de agua, será necesario considerar la instalación de abrevaderos sustitutos (MADS, 2015).

4.3.2 Sistema silvopastoril (SSP)

Se pretende establecer franjas de árboles sobre áreas de praderas dedicadas a ganadería extensiva desprovistas de árboles o con muy pocos (menos de 30 árboles por hectárea) y pendiente promedio inferior al 50%, para aumentar la conectividad entre áreas naturales aisladas, principalmente bosques ribereños o fragmentos de bosque representativos del predio, aportando alimento, movilidad o refugio a la fauna. La franja silvopastoril está acompañada por una cerca protectora, conformado por poste de madera, de 1,60 metros de largo, aserrados a dos, tres y cuatro caras, con instalación de dos hilos de alambre liso galvanizado. Previo hincado de postes, se debe impermeabilizar los postes a 80 centímetros, para garantizar la durabilidad del poste en el tiempo (MADS, 2015).

La Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC establece para las franjas silvopastoriles dos diseños, donde la primera alternativa las plantas podrán ser sembradas a dos líneas intercaladas por franja, quedando las plantas a 3x2 metros; la segunda alternativa establece la formación de tres líneas intercaladas por franjas, dejando las líneas externas de 5x3 metros y en el centro se ubica otra línea, con plantas cada 5 metros. De la misma manera la cerca protectora presenta sus especificaciones para cada alternativa.

4.3.3 Bosque de uso doméstico (BUD)

Con el propósito de mitigar o acabar la presión que existe sobre áreas naturales de protección por la necesidad de obtener madera para usos domésticos (postes, leña, construcciones rurales, etc) se establecen bosques de uso domésticos sobre áreas dedicadas a

la producción agropecuaria. Se usan especies de rápido crecimiento, nativa o no acordes a las necesidades de productos identificados en el diagnóstico participativo. Las áreas a establecer por predio son inferiores a una hectárea y su tamaño depende del área y necesidades del predio a intervenir (MADS, 2015).

4.4 Legislación Colombiana Ambiental

Colombia cuenta con cinco pilares esenciales enfocados en el medio ambiente, estos son:

- Constitución Política (Secretaría del Senado)
- Ley 99 del 1993 (Congreso de la República de Colombia)
- Decreto Ley 2811 de 1974 Código Nacional de los Recursos Nacionales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Presidencia de la República de Colombia)
- Ley 9 (Novena) de 1979 (Congreso de la República de Colombia)
- Ley 23 de 1973 (Congreso de la República de Colombia)

La tabla 2 destaca algunos principios fundamentales expuestos por la Constitución Política donde se encuentra presente el artículo número 80, Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales. La cual, “Establece como deber del Estado la Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución” Considerando importante la implementación de estrategias enfocadas en la conservación, restauración o sustitución. Cabe destacar los principios ambientales inmersos dentro de la Constitución Política.

Tabla 2. Principios ambientales de la constitución política

ARTICULO	TEMA	CONTENIDO
7	Diversidad étnica y cultural de la nación	Hace reconocimiento expreso de la pluralidad étnica y cultural de la Nación y del deber del Estado para con su protección.
8	Riquezas culturales naturales de la Nación	Establece la obligación del Estado y de las personas para con la conservación y las riquezas naturales y culturales de la Nación.
49	Atención de la salud y saneamiento ambiental	Consagra como servicio público la atención de la salud y saneamiento ambiental y ordena al Estado la organización, dirección y reglamentación de los mismos.
58	Función ecológica de la propiedad privada	Establece que la propiedad es una función social que implica obligaciones y que, como tal, le es inherente una función ecológica.
63	Bienes de uso político	Determina que lo bienes que servicio público, los parques naturales, las tierras comunales de grupos étnicos y los demás bienes que determine la ley, son inalienables, imprescindibles e inembargables.
79	Ambiente sano	Consagra el derecho de todas las personas residente en el país de gozar de un ambiente sano.
80	Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales	Establece como deber del Estado la Planificación del manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución.
88	Acción popular	Consagra acciones populares para la protección de derechos e intereses colectivos sobre el medio ambiente, entre otros, bajo la regulación de la ley.
95	Protección de los recursos culturales y naturales del país	Establece como deber de las personas, la protección de los recursos culturales y naturales del país, y de velar por la conservación de un ambiente sano.
330	Administración de los territorios indígenas	Establece la administración autónoma de los territorios indígenas, con ámbitos de aplicación en los usos del suelo y la preservación de los recursos naturales, entre otros.

Fuente: Ávila (2014)

5. Diseño metodológico

Se estructura un proceso metodológico apoyado en tres fases, con el propósito de definir el planteamiento teórico de las variables de respuesta seleccionadas y las determinaciones técnicas en campo y laboratorio.

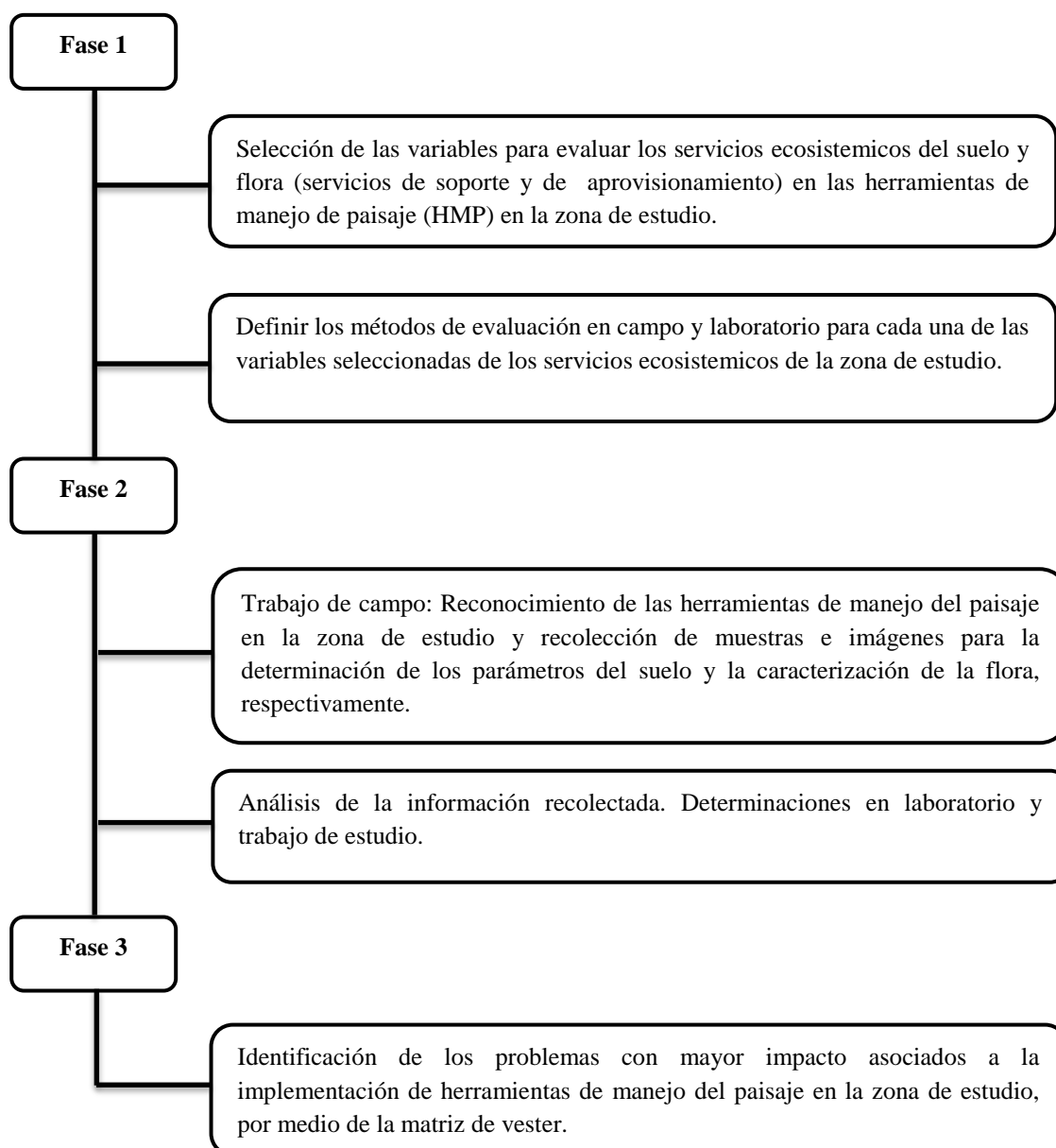


Figura 1. Diseño en fases metodológicas. Fuente: Autor.

5.1 Localización y descripción de la zona de estudio

La zona de estudio está representada por diferentes herramientas de manejo del paisaje, las cuales son: Aislamiento de protección (AP), sistema silvopastoril (SSP) y bosque de uso doméstico (BUD), donde se evalúan los servicios ecosistémicos del suelo y flora (servicios de soporte y de aprovisionamiento), en el municipio de Tuluá, corregimiento de San Juan de Barragán, del departamento del Valle del Cauca.

El municipio de Tuluá se encuentra ubicado en la zona centro del departamento del Valle del Cauca, está ubicado geográficamente a 4° 05' de latitud norte y 76° 12' de longitud occidental. Limita por el oriente con el municipio de Sevilla y el departamento del Tolima; por el occidente con el río Cauca y el municipio de Riofrío. Por el norte con los municipios de Andalucía y Bugalagrande y por el sur con los municipios de Buga y San Pedro. Tiene diversidad de pisos térmicos y alturas que van entre los 960 metros sobre el nivel del mar en el área urbana hasta los 4.400 metros sobre el nivel del mar, en donde se encuentran los páramos de Barragán y Santa Lucía. Como centro agrícola del Valle del Cauca, el municipio de Tuluá presenta diversidad de climas, desde los 10° C en la zona cordillerana donde se encuentra parte de la reserva natural como lo es el Páramo de Las Hermosas. Su temperatura promedio en área urbana es de 24° C hasta los 27° C.

Dentro de su hidrografía, el municipio de Tuluá está influido por los ríos Tuluá, Bugalagrande, Cauca, Los Osos, Morales, San Marcos y Sabaletas.

La economía del municipio está representada principalmente por la agricultura, la ganadería, el comercio, y el desarrollo actual del sector de prestadores de servicios en salud.

De la misma manera que el resto del Valle del Cauca, las actividades agrícolas de Tuluá dependen de los cultivos permanentes, sobresaliendo la caña de azúcar.

En la cordillera central, zona rural y parte alta del municipio de Tuluá, donde se ubican los corregimientos de Barragán y Santa Lucía, se produce en poca proporción, cebada, papa, cebolla y la fresa, al igual que es considerada como una reserva lechera de gran proyección debido al alto desarrollo ganadero que presenta (Cámara de comercio. 2016)



Figura 2. Ubicación del municipio de Tuluá Valle del Cauca. Fuente: (Wikipedia, 2019)

5.1.1 Descripción de la zona de estudio

La zona de estudio se encuentra en el corregimiento de San Juan de Barragán, en la finca “Lusitania”, la ubicación geográfica de la finca es $4^{\circ}02'56.22$ de latitud norte y de $75^{\circ}54'27.36$ de longitud oeste.

La zona de estudio (Figura 3) se encuentra representada por diferentes herramientas de manejo del paisaje, las cuales son: Aislamiento de protección (AP), sistema silvopastoril (SSP) y bosque de uso doméstico (BUD).



Figura 3. Ubicación de la finca “Lusitania” con las herramientas de manejo del paisaje AP, SSP, BUD. Zonificación de las herramientas. Fuente: (GoogleEarth, 2019)

5.1.1.1 Aislamiento de protección (AP)

El aislamiento de protección se encuentra aislando resguardando una zona boscosa dentro del predio; se trata de una herramienta de protección y conservación del ecosistema. Según los habitantes de la zona, anteriormente el predio presentaba mayor cobertura boscosa. La disminución del tamaño del bosque como resultado del cambio de uso del suelo, con procesos productivos como la ganadería al establecer potreros para la producción de pastos.

Actualmente el aislamiento de protección conserva aproximadamente 4 hectáreas de bosque. La cobertura se caracteriza por presentar vegetación arbórea natural. La vegetación natural es la cobertura y composición de especies vegetales de un área que no ha sido plantada o modificada por el hombre (Forman 1995).

El aislamiento de protección tiene como objetivo disminuir el impacto producido por animales de pastoreo en el interior del bosque, ya sea por la creación de caminos para

consumo de agua, compactación del suelo o por consumo o pisoteo de semillas y plántulas. De la misma manera, ayuda a mejorar las posibilidades de supervivencia de la biodiversidad mediante el incremento de la cobertura vegetal nativa, proteger elementos del paisaje, aumentado la calidad de los hábitats nativos para la fauna.

La estructura de la herramienta está conformada por postes de madera de 2 metros de largo, aserrados a dos, tres y cuatro caras, hincados cada 2.5 metros, con instalación de cuatro hilos de alambre de púas calibre 12. Previo hincado de postes, se realiza impermeabilización desde la base del poste a 80 centímetros, para garantizar la durabilidad del poste en el tiempo. Dado que en muchos casos se restringe el acceso de los animales a las fuentes de agua, se acompaña la construcción del cerco de púa con la instalación de un abrevadero (MADS, 2015).

Los aislamientos de protección pueden ser efectivos para favorecer procesos de restauración espontánea, ya que controlan los agentes causantes de la degradación, permiten un buen desarrollo de procesos sucesionales.

5.1.1.2 Sistema Silvopastoril (SSP)

Se trata de un sistema donde el principal elemento de paisaje se establece en potrero. Esta herramienta forma franjas de árboles sobre áreas de praderas dedicadas a ganadería extensiva desprovistas de árboles o con muy pocos (menos de 30 árboles por hectárea) y pendiente promedio inferior al 50%, tiene como objetivo aumentar la conectividad entre áreas naturales aisladas, principalmente bosques ribereños o fragmentos de bosque representativos del predio, aportando alimento, movilidad o refugio a la fauna.

Actualmente el sistema silvopastoril ocupa un área total de 10 hectáreas, está basado en la combinación de pastos para ganadería con especies arbóreas y arbustivas. Se utiliza para aprovechar el uso de las áreas de potreros, a la vez liberar ciertas áreas de la finca para restaurarlas y conectar elementos con cobertura nativa en la finca.

Las franjas silvopastoriles están acompañadas por una cerca eléctrica protectora, conformada por poste de madera, de 1,60 metros de largo, aserrados a dos, tres y cuatro caras, con instalación de dos hilos de alambre liso galvanizado. Previo hincado de postes, se realiza impermeabilización desde la base del poste a 80 centímetros, para garantizar la durabilidad del poste en el tiempo (MADS, 2015).

5.1.1.3 Bosque de uso doméstico (BUD)

La herramienta de bosque de uso doméstico generalmente se establece en potreros o áreas contiguas a bosques o cañadas. El BUD se basa en el establecimiento de pequeñas parcelas con especies de rápido crecimiento y buena madera para uso doméstico de la finca. Esta herramienta complementaria se usa para negociar la extracción de maderas de los parches de bosque de la finca por un manejo y uso sostenible en una porción de la finca lo que le permitirá al campesino mantener un recurso disponible en mayor volumen y cerca de la casa. (Lozano-Zambrano, 2009)

Las áreas a establecer por predio son inferiores a una hectárea y su tamaño depende del área y necesidades del predio a intervenir.

En la actualidad se utiliza un total de 0,5 hectáreas como bosque de uso doméstico en el predio “Lusitania”, con el propósito de mitigar o acabar la presión que existe sobre áreas naturales de protección por la necesidad de obtener madera para usos domésticos (postes,

leña, construcciones rurales, etc.). La herramienta utiliza especies de rápido crecimiento para ser y buena madera con especies como eucaliptos.

5.2 Metodología Fase 1

5.2.1 Selección de variables para evaluar servicios ecosistémicos (SE) en herramientas de manejo de paisaje (HMP).

De acuerdo a los objetivos planteados, la disponibilidad de recursos y las características del terreno, se definieron las siguientes variables para evaluar los SE del suelo y flora, como servicios de soporte y de aprovisionamiento respectivamente en la zona de estudio, los cuales se encuentran resumidos en la tabla 3.

Tabla 3. Variables para SE en HMP

<u>Servicios ecosistémicos</u>	<u>Zona de estudio</u>	<u>Variables</u>
Servicios de aprovisionamiento. Flora asociada a las HMP	Aislamiento de protección (AP); Sistema Silvopastoril (SSP); Bosque de uso doméstico (BUD).	Determinación de la composición florística mediante caracterización vegetal (Flora)
Servicio de soporte. Suelo asociado a las HMP	Aislamiento de protección (AP); Sistema Silvopastoril (SSP); Bosque de uso doméstico (BUD).	Determinación de las propiedades químicas y físicas (pH; CE; %M.O; %CO; Color, Textura; Humedad gravitacional; Densidad aparente; densidad real; porosidad total) y biológicas asociada al suelo (Macrofauna)

Fuente: Autor

5.2.2 Método de muestreo para determinar la composición florística.

Se realizaron parcelas temporales con dimensiones de 5x3m, para la evaluación en campo. Por medio de un muestreo aleatorio, se ubicaron los puntos de muestreo con estacas

de madera teniendo en cuenta las dimensiones definidas para la caracterización vegetal. Luego de parcelar la zona, se realizó la toma de datos directamente en campo (Foto 1). Donde se hizo un registro fotográfico de cada uno de los individuos que se encontraron dentro de la parcela, se enumeraron consecutivamente los individuos existentes para posteriormente identificar las especies (Foto 2). Las especies identificadas en campo se nombraron y se registraron en la libreta de campo. Dentro del registro fotográfico se tuvo en cuenta la composición de los individuos como, forma de tallo y ramas, tipo de hoja, floración, entre otras. Posteriormente, se descargó el registro fotográfico y se ordenó por zona de estudio, en este caso por herramienta de manejo de paisaje y número de foto.



Foto 1. Toma de datos directamente en campo. Fuente: Autor



Foto 2. Toma de datos directamente en campo. Fuente: Autor

5.2.3 Método de muestro de suelos en campo para determinación de las propiedades químicas y físicas.

La recolección de las muestras de suelo se realizaron en zonas lo más homogénea posible, teniendo en cuenta la ubicación de las diferentes zonas de estudio. Inicialmente se limpió el área con un machete donde se tomó la muestra de suelo, se realizó un descapote eliminando el material vegetal en el punto de muestreo, luego se introdujo el palin ahoyador de forma oblicua al suelo a una profundidad de 0-30 cm, formando una especie de triángulo en el punto de muestreo y se retiró la porción de suelo removida. (Foto 3). Se introdujo nuevamente el palin en uno de los bordes oblicuos anteriormente formados a la misma profundidad y se sacó la porción del suelo. Posteriormente se eliminó el exceso de suelo de la parte superior, inferior y de los lados, para obtener la muestra de suelo y se introdujo en la bolsa plástica rotulada. (Foto 4 y 5)



Foto 3. Eliminación de material vegetal y proceso de remoción de suelo para la toma de muestra.
Fuente: Autor



Foto 4. Eliminación del exceso de suelo para conformar la muestra de suelo. Fuente: Autor



Foto 5. Obtención de la muestra de suelo. Fuente: Autor

Para la zona de estudio denominada aislamiento de protección (AP) se tomó una muestra compuesta conformada por dos submuestras, tomadas en puntos estratégicos a una distancia entre cuadrantes, de más de 5 m, pero no más de 20 m, para lograr un resultado con mayor efectividad, esto se debe a la composición sinuosa del terreno. La cantidad de suelo recolectada para cada muestra fue de aproximadamente 500 gramos. No se hace contacto de la muestra de suelo recolectada con las manos.

5.2.3.1 Método de muestro de suelos para determinación biológica (Macrofauna)

Para realizar el muestreo de la macrofauna edáfica el procedimiento consistió en realizar un cuadrante de suelo en cada zona de estudio, de 25 x 25 cm hasta la profundidad de 20 cm (Anderson & Ingram, 1993) con el empleo de un palin (Foto 6 y 7).



Foto 6. Apertura del cuadrante del suelo con el empleo de una palin. Fuente: Autor



Foto 7. Cuadrante de suelo de 25 x 25 x 20 cm. Fuente: Autor

Posteriormente se extrajo el contenido de suelo y se acopio sobre una bolsa de plástico (Foto 8), luego se examinó la muestra de suelo con el objetivo de hallar individuos.

De las muestras de suelo fueron extraídos manualmente los individuos no reconocidos y fueron depositados en frascos de plástico con tapas (Foto 9), con su respectiva etiqueta por terreno para ser identificados.



Foto 8. Reconocimiento en campo de individuos hallados. Fuente: Autor



Foto 9. Recolección de individuos no identificados en envases de plástico. Fuente: Autor

5.2.4 Métodos de laboratorio para determinar las propiedades químicas y físicas del suelo.

Considerando los principales parámetros para determinar las propiedades químicas y físicas del suelo en la zona de estudio, las metodologías de laboratorio se resumen en la tabla

4, cuyas descripciones se encuentran en el anexo 1, incluyendo algunos parámetros complementarios¹.

Tabla 4. Métodos y parámetros para determinación de las propiedades químicas y físicas

<u>Parámetros</u>	<u>Métodos</u>
pH	Reacción del (suelo Agua 1:1) Potenciómetro
Conductividad eléctrica (CE)	Conductímetro
Porcentaje de materia orgánica (% M.O.)	Materia orgánica (g/kg) Espectrometría (Walkley-Black)
Porcentaje de carbono orgánico (% C.O.)	Walkley-Black
Textura	Método de bouyoucos
Color	Cartas de color estándar de Munsell
Humedad gravitacional	Se expresar gravimétricamente, con base en la masa.
Densidad real	Método del picnómetro.
Densidad aparente	Método del núcleo
Porosidad total	Generalmente, la porosidad determinada a partir de la densidad aparente da valores

¹ Capacidad de campo, punto de marchitamiento, agua aprovechable, retención de humedad del suelo a diferentes tensiones, conductividad hidráulica, estabilidad de agregados método de yoder.

mayores que el contenido volumétrico de agua a saturación.

En el anexo 2, se describen los materiales y equipos de laboratorio, para la determinación de los parámetros definidos en el caso de estudio.

5.3 Metodología Fase 2

5.3.1 Reconocimiento de las herramientas de manejo del paisaje (HMP) en la zona de estudio

Se realizó una descripción de las características de cada terreno, el Aislamiento de Protección (AP), Sistema Silvopastoril (SSP) y Bosque de Uso Doméstico (BUD).

5.3.2 Época de recolección de muestras

Para la toma de muestras para la determinación de las propiedades químicas y físicas de suelo, se realizó un solo muestreo después de establecer puntos lo más homogéneos posibles en cada zona de estudio, para el caso del AP se tomaron dos submuestras para conformar una muestra compuesta. De la misma manera se realizó un solo muestreo en cada zona de estudio para la identificación de la macrofauna edáfica asociada al suelo. Las muestras de suelo recolectadas para el análisis en laboratorio consideraron factores climáticos de la zona de estudio.

En cuanto a la determinación de la composición florística mediante caracterización vegetal (Flora), se realizaron registros fotográficos de cada individuo como método de recolección de muestras, para su respectiva identificación.

5.4 Metodología Fase 3

Se identificaron diferentes problemáticas asociadas a la implementación de las herramientas de manejo del paisaje (HMP), donde se empleó la matriz de Vester como técnica de investigación, para relacionar los problemas identificados, así como jerarquizarlos e interpretarlos según su nivel de causalidad de uno sobre otro.

5.4.1 Análisis de información

La información se analizó usando matrices y graficas de Excel. Para el análisis de las propiedades químicas y físicas del suelo, se realizaron graficas de Excel y análisis estadísticos comparativos. Para la composición florística se consultaron los factores biofísicos de fuentes externas y análisis estadísticos. Por último, se utilizó la matriz de Vester para identificar diferentes problemáticas asociadas a las herramientas de manejo del paisaje.

5.4.2 Composición florística.

Se realizó un listado de las especies identificadas en las herramientas de manejo del paisaje (AP, SSP, BUD), se describió las principales características e importancia para la zona de estudio. Además se realizó un análisis clusters, utilizando el método Jerárquicos representado en una gráfica denominada dendrograma.

El Análisis de Clusters (o Análisis de conglomerados) es una técnica de Análisis Exploratorio de Datos para resolver problemas de clasificación. Su objeto consiste en ordenar objetos (personas, cosas, animales, plantas, variables, etc,...) en grupos (conglomerados o clusters) de forma que el grado de asociación/similitud entre miembros del mismo cluster sea más fuerte que el grado de asociación/similitud entre miembros de diferentes clusters. Cada cluster se describe como la clase a la que sus miembros pertenecen. (Villardón, 2019, p.2)

5.4.3 Propiedades químicas y físicas del suelo

Se interpretó y describió los resultados obtenidos de las muestras de suelo, asociadas a cada una de las herramientas de manejo del paisaje existentes en el área de estudio, determinando las propiedades químicas y físicas del suelo y la capacidad que tiene éste para brindar diferentes usos.

5.4.3.1 Determinación biológica (Macrofauna)

Adicional a la descripción e interpretación de las propiedades químicas y físicas del suelo, se tuvo en cuenta la diversidad de especies del suelo, mediante la aplicación del índice de Simpson. Fórmula para el índice de Simpson:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

Dónde:

S = número de especies

N= total de organismos presentes (o unidades cuadradas)

n= número de ejemplares por especie

Así, el índice contempla la cantidad de especies presentes en el área de estudio (riqueza de especies) (Magurran, 1989).

5.5 Matriz de Vester

Esta técnica de investigación fue diseñada por el alemán Frederic Vester y aplicada con éxito en diversos campos. Facilita la identificación y determinación de las causas y consecuencias de una situación problemática (Chiimbila, 2019)

Inicialmente se debe de realizar la identificación de problemas, en este caso los problemas asociados a las herramientas de manejo del paisaje. Con la identificación de los problemas, se procede a formar la matriz, realizando una asignación alfabética o numérica sucesiva para facilitar el trabajo en la matriz, seguido de ubicar los problemas por filas y columnas siguiendo el mismo orden (Figura 4 - 5)

	Problemas temática seleccionada
1	Problema
2	Problema
3	Problema
4	Problema
5	Problema
6	Problema
7	Problema
8	Problema
9	Problema
10	Problema

Temática:

Figura 4. Matriz de Vester (Problemas temática seleccionada) Fuente: Autor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total activos
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
Total pasivos											

Figura 5. Matriz de Vester (activos – pasivos) Fuente: Autor

La metodología de la matriz y su interpretación trabaja con una valoración de orden categórico al grado de causalidad que merece cada problema con cada uno de los demás, siguiendo las siguientes pautas:

- No es causa 0
- Es causa indirecta 1
- Es causa medianamente directa 2
- Es causa muy directa 3

Para diligenciar la matriz se establece el siguiente planteamiento: ¿Qué grado de causalidad tiene el problema 1 sobre el 2?, sobre el 3?...sobre el 4?, y así sucesivamente hasta completar cada fila y completar toda la matriz.

Una vez valorado los problemas en la matriz, se procede a calcular los totales por filas y columnas. La suma de los totales por filas conduce al total de los activos que corresponden al grado de causalidad de cada problema sobre los restantes. La suma de cada columna conduce al total de los pasivos que es el grado de causalidad de todos los problemas sobre el problema particular analizado es decir su nivel como consecuencia o efecto.

Posteriormente se realiza la clasificación de los problemas de acuerdo a las características de causa efecto de cada uno de ellos. En este momento nos apoyamos de una gráfica. Construir un eje de coordenadas donde se situaran los valores de los activos en el eje X y los valores de los pasivos en el eje Y. Se identifica el mayor valor del total de los activos y los pasivos y se divide entre dos. A partir de los valores resultantes se trazan sobre los ejes anteriores líneas paralelas al eje X si se trata de los pasivos y al eje Y si se trata de los activos.

Lo anterior facilita un trazado de dos ejes representados por las perpendiculares trazadas desde de los ejes originales, que permite la representación de 4 cuadrantes, ubicando sobre ellos a cada uno de los problemas bajo análisis (Chiimbila, 2019)

La ubicación espacial de los problemas en la figura 6 correspondiente facilita la siguiente clasificación:

Cuadrante I (superior derecho) Problemas críticos.

Cuadrante II (superior izquierdo) Problemas pasivos.

Cuadrante III (inferior izquierdo) Problemas indiferentes.

Cuadrante IV (inferior derecho) Problemas activos.

5.5.1 Interpretación de los cuadrantes

<p>CUADRANTE 2: PASIVOS. Problemas de total pasivo alto y total activo bajo. Se entienden como problemas sin gran influencia causal sobre los demás pero que son causados por la mayoría. Se utilizan como indicadores de cambio y de eficiencia de la intervención de problemas activos.</p>	<p>CUADRANTE 1: CRÍTICOS. Problemas de total activo total pasivo altos. Se entienden como problemas de gran causalidad que a su vez son causados por la mayoría de los demás. Requieren gran cuidado en su análisis y manejo ya que de su intervención dependen en gran medida lo resultados finales.</p>
<p>CUADRANTE: INDEFERENTES. Problemas de total activos y total pasivos bajos. Son problemas de baja influencia causal además que no son causados por la mayoría de los demás. Son problemas de baja prioridad dentro del sistema analizado.</p>	<p>CUADRANTE 4: ACTIVOS Problemas de total de activos alto y total pasivo bajo. Son problemas de alta influencia sobre la mayoría de los restantes pero que no son causados por otros. Son problemas claves ya que son causa primaria del problema central y por ende requieren atención y manejo crucial.</p>

Figura 6. Interpretación de cuadrantes en la matriz de Vester. Fuente: (Chiimbila, 2009)

6 Resultados y discusión

6.1 Composición florística mediante caracterización vegetal (Flora)

6.1.1 Zona de estudio Aislamiento de protección (AP)

En la zona de estudio correspondiente al AP se encontró cobertura vegetal de porte medio y alto, semiabiertas, conformadas por bosques maduros, en estados sucesionales intermedios a avanzados, con dosel moderadamente continuo de hasta 6-15 m de altura. En la composición del bosque aislado por el AP, es visible la presencia de la especie *Myrsine guianensis* conocida en el Valle del Cauca por su nombre común; Chagualo, correspondiente a la familia Myrsinaceae.

De la misma manera, es visible la abundancia de una especie conocida comúnmente en la zona como duraznillo, correspondiente a la familia Melastomaceae, identificada por sus características físicas, como: “Arbustos, hierbas o árboles. Hojas opuestas, simples; láminas con 3 ó más nervaduras primarias que ascienden desde o muy próximo a la base y convergen hacia el ápice, las nervaduras terciarias conspicuas y corriendo en ángulo recto con respecto a las nervaduras principales”. (Laboratorio de Sistemática de Plantas vasculares, 2017). Se presentan de moderado a alto la *Myrsine guianensis*; Chagualo.



Foto 10. Área de influencia AP (2557 m.s.n.m), arbustales y arboles emergentes. Tuluá (Valle del Cauca). Fuente: Autor

La presencia de especies de flora como el Chagualo en el relicto de bosque protegido por el AP, presenta gran interés debido a su importancia ecológica al ser una especie nativa. Esta especie se distingue por crecer en zonas degradadas o pobres. Se puede considerar importante como fuente de reproducción en la zona de estudio, por sus características para uso doméstico, como: En la construcción de cercas vivas, leña, alimento de avifauna y conservación de suelos; su madera se usa para la producción de estantillos o postes para casas. (Secretaría Distrital de Ambiente, 2019)

En la zona de AP, los arbustales se muestran como las coberturas dominantes, se encuentran en zonas de topografía quebrada, con relieve montañoso, el cual predomina en el área de estudio (Foto 10)

En esta área de estudio, los bosques empiezan a fragmentarse y a estar divididos por, potreros, rastrojos o regeneraciones tempranas, por la cercanía a áreas productivas.

6.1.2 Zona de estudio Sistema Silvopastoril (SSP)

En la zona de estudio correspondiente al SSP existen herbáceas con alturas entre 30-60cm entre los cuales se encuentran el *Poa pratensis*, *Ranunculus acris*, *Solanum pseudolulo*, *Verbena officinalis*. Las especies dominantes son *Pennisetum clandestinum* y *Poa pratensis*.



Foto 11. Pastos-arbustales y arbustales en el SSP (2626 m.s.n.m). Tuluá (Valle del Cauca).
Fuente: Autor

Esta zona de estudio está conformada por franjas construidas a curva de nivel, donde dividen potreros para facilitar el manejo de la actividad pecuaria, las cuales crean una especie de corredores biológicos. Las especies dominantes presentan alto interés forrajero, ya que su calidad nutricional es buena y ricas es proteínas. (Foto 11)

Estas coberturas se encuentran moderada a levemente intervenidas. La topografía del terreno es quebrada, con pendientes medias a altas.

6.1.3 Zona de estudio Bosque de Uso Doméstico

En la zona de estudio correspondiente al bosque de uso doméstico (BUD) se encontró cobertura de porte bajo a media y semiabierto, conformada por arbustales y arbolitos emergentes dispersos. Predominan *Eucalyptus grandis* y *Pennisetum clandestinum*. Los

arbolitos emergentes dispersos presentan hasta 6 m de altura, donde domina el *Eucalyptus grandis*.



Foto 12 - 13. Área de influencia BUD (2643 m.s.n.m), arbustales y arbolitos emergentes dispersos. Tuluá (Valle del Cauca) Fuente: Autor

Las especies existentes en la parcela son: *Eucalyptus grandis*, *Pennisetum clandestinum*, *Poa pratensis*, *Senna spectabilis*. Estas coberturas se encuentran moderada a altamente intervenidas, la topografía del terreno es ondulada a levemente quebrada, con pendientes medias a bajas. (Foto 12 y 13)

La composición florística de la zona de estudio, está constituida por gran variedad de especies, donde se destaca una especie del género *Monnina*, presentándose en al menos una de las parcela realizadas por HMP.

La *Monnina* es un género de planta de flores perteneciente a la familia *Polygalaceae*. Donde se caracteriza por habitar “desde regiones semiáridas y sabanas a selvas húmedas. La mayoría de los géneros están confinados a bajas elevaciones, pero las especies de algunos ocurren por encima de los 2000 metros (ej. *Monnina* y *Pteromonnina*)”. (Laboratorio de Sistemática de Plantas vasculares, 2017).

Estos resultados se encuentran relacionados con las especies típicas del área de influencia. Zonas de potreros con especies como *Pennisetum clandestinum*, *Verbena officinalis*. Se encontraron algunas especies nativas como la *Clusia multiflora*, especies de gran importancia para la regulación hídrica, ya que requiere suelos con buen drenaje, debido a la necesidad respiratoria de las raíces, con humedad alta y permanente. Necesita sombra moderada, aunque soporta el pleno sol si tiene humedad atmosférica (*Clusia multiflora*,s.f)

Los datos obtenidos del muestreo de campo para la identificación de especies en la zona de estudio, muestran una relación entre las características de las plantas y los servicios ecosistémicos asociados a las herramientas de manejo del paisaje evaluadas.

6.1.4 Análisis de Clusters (Dendrograma)

En la figura 7 se muestran dos clústers, denominados A y B. En general, si cortamos el dendrograma mediante una línea horizontal como en el gráfico siguiente, determinamos el número de clusters en que dividimos el conjunto de objetos.

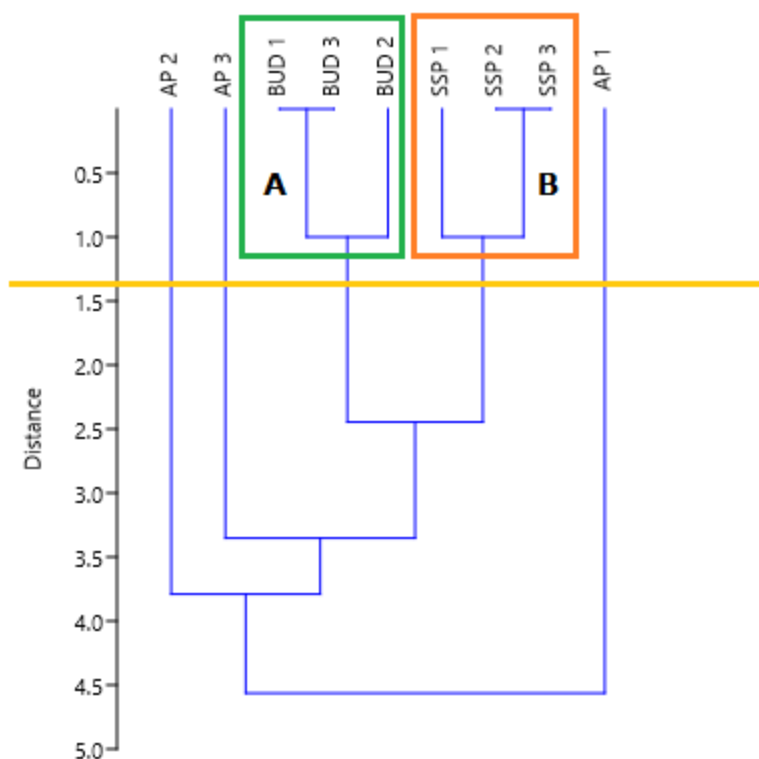


Figura 7. Dendrograma distancia euclidiana. Fuente. Past4.0

La distribución de dos (2) clusters agrupa por una parte las HMP BUD 1 con BUD 3 y BUD 2, por otro lado agrupa las HMP SSP 2 con SSP 3 y SSP 1, lo cual nos está indicando la similitud que existe entre ellos, en este caso, la similitud de especies florísticas.

Además en la agrupación de las variables se muestra como se asocian los clusters denominados A y B, con la presencia de especies florísticas similares, predominando la presencia de la especie de *Poa pratensis* y *Pennisetum clandestinum*.

6.2 Determinación de las propiedades químicas y físicas.

El suelo de estudio corresponde a la zona montañosa del municipio de Tuluá, exactamente en el corregimiento de Barragán, donde los análisis de las muestras definieron

una clase de suelos francos, según la textura. Los suelos francos se distinguen por presentar buena retención de agua. Así mismo, es un suelo con alta productividad agrícola, en consecuencia de su textura relativamente suelta, propiciada por la arena, la fertilidad aportada por los limos y la apropiada retención de humedad, favorecida por la arcilla.

Los resultados de análisis de las muestras de suelo del AP y SSP indican la presencia de una textura media con suelos francos, y para la muestra de suelo del BUD la textura es moderadamente gruesa, presentando suelo franco arenoso.

La figura 8, muestra el porcentaje de partículas (arenas, limos, arcillas), para cada una de las muestras realizadas en campo, para la determinación de la textura del suelo.

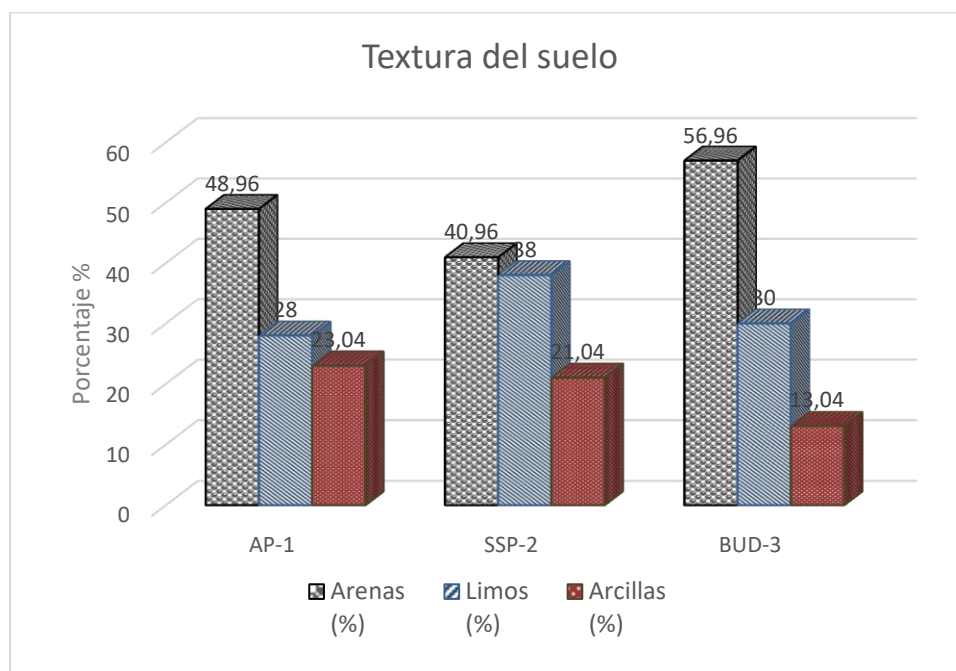


Figura 8. Textura del suelo. Porcentaje de partículas (arenas, limos, arcillas). Fuente: Autor

La cantidad de partículas de arenas es superior para la muestra del BUD, que para las muestras de AP y SSP, lo que la hace presentar condiciones diferentes y clasificar su textura como un tipo de suelo franco arenoso.

En general los suelos francos y franco arenoso son fáciles de identificar debido al tipo de color oscuro que tienen. En el caso de estudio el color oscuro del suelo se debe al contenido de materia orgánica muy descompuesta. Flores y Alcalá (2010) refieren que en suelos con escaso contenido de materia orgánica el exceso de sodio puede formar colores oscuros debido a la disolución de la materia orgánica que se presenta con valores de pH muy alcalinos y que tiende a migrar a la superficie. El color oscuro del suelo también puede ser producido por la presencia de óxidos de manganeso o carbón elemental inmediatamente después de la quema. El suelo húmedo presentará un color más oscuro que el del suelo seco. El horizonte superficial del suelo es comúnmente, más oscuro, por su alto contenido de humus. Los resultados del color de las muestras de suelo se muestran en la tabla 5.

Tabla 5. Color del suelo

<u>Muestra</u>	<u>Color en húmedo</u>	<u>Traducción</u>	<u>Color en seco</u>	<u>Traducción</u>
AP-1	5YR 4/1	Gris oscuro	10YR 2/1	Negro
SSP-2	10YR3/2	Pardo grisáceo muy oscuro	10YR 2/1	Negro
BUD-3	10YR 2/1	Negro	10YR 2/1	Negro

Fuente: Autor

Los resultados de porcentaje de materia orgánica registrados en la figura 10, se relacionan con el estado climático de la zona de estudio, por ende se puede determinar que el

porcentaje de materia orgánica del suelo es alto para las tres muestras realizadas. La figura 9, Indica el porcentaje de materia orgánica.

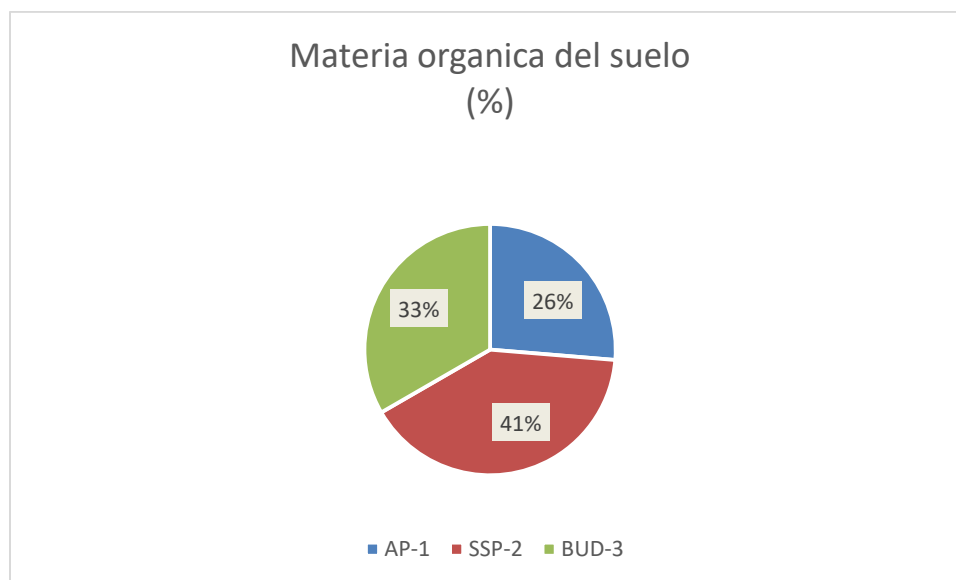


Figura 9. Porcentaje de materia orgánica. Fuente: Autor

CLIMA	Calificación del % de Materia Orgánica		
	Bajo	Medio	Alto
Frío	Menor de 5	5 - 10	Mayor de 10
Medio	Menores de 3	3 - 5	Mayor de 5
Cálido	Menor de 2	2 - 4	Mayor de 4

Figura 10. Calificación del porcentaje de materia orgánica. Fuente: (Torres, 2017)

El porcentaje de materia orgánica (%MO) y porcentaje de carbono orgánico (%CO) mantiene gran relación, ya que uno es indicador del contenido de otro. El COS es el componente principal de la materia orgánica del suelo (MOS) y, como tal, constituye el combustible de cualquier suelo. La MOS contribuye a funciones clave del suelo, ya que es fundamental para la estabilización de la estructura del suelo, la retención y liberación de

nutrientes vegetales, y permite la infiltración y almacenamiento de agua en el suelo. Por lo tanto, es esencial para garantizar la salud del suelo, la fertilidad y la producción de alimentos. (FAO, 2017)

El carbono orgánico del suelo (COS) es un componente importante del ciclo global del C, ocupando un 69,8 % del C orgánico de la biosfera (FAO, 2001). El suelo puede actuar como fuente o reservorio de C dependiendo de su uso y manejo (Lal et al., 1990, Lal, 1997). La tabla 6, indicia los valores de porcentaje de carbono orgánico para cada una de las muestras.

Tabla 6. Valores de porcentaje de carbono orgánico

<u>Muestra</u>	<u>%CO</u>
AP-1	8.76
SSP-2	13.34
BUD-3	11.02

Fuente: Autor

De acuerdo a lo anterior, los valores de materia orgánica y el correspondiente carbono orgánico para las tres muestras de HMP se consideran altos de acuerdo a la tabla 6.

(Clasificación del % de materia orgánica)

El pH mide el grado de acidez de un suelo, es decir, la concentración de hidrogeniones (H+) que existen en el suelo. En la escala de valor máximo 14, el valor de un suelo neutro es 7, siendo ácidos todos aquellos que tengan valores inferiores a 7, y básicos todos aquellos que tienen valores superiores a éste. (Garrido, 1994, p. 21). En la tabla 7, se reporta el tipo de suelo según los valores de pH obtenidos. (Garrido, 1994, p. 21)

Tabla 7. Tipos de suelo según los valores de pH obtenidos y valores de C.e.

<u>Muestra</u>	<u>pH</u>	<u>Tipo</u>	<u>C.e.</u>
AP-1	5,4	Muy ácido	83 μ S,
SSP-2	5,5	Ácido	165 μ S,
BUD-3	5,7	Ácido	94 μ S,

Fuente: Autor

Los resultados nos permiten afirmar que la disponibilidad de nutrientes en el suelo es mayor en elementos, como: Fe; Mn; B; Cu, Zn. Los suelos con valores de pH comprendido entre 5 y 6,5, son considerados óptimos para establecimiento de cultivo, debido a que ayuda a la aireación del suelo y por lo tanto reduce la incidencia de enfermedades.

La conductividad eléctrica (CE) del suelo es la capacidad de conducir la corriente eléctrica, la cual depende de la cantidad de iones positivos y negativos que se encuentran en la solución del suelo, por eso la CE de la solución de suelo es un indicador del contenido de sales. La CE comúnmente se mide en el laboratorio, en el extracto de pasta de saturación (Warrick & Nielsen, 1981). El valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo suelo, esto significa que a mayor CE, mayor es la concentración de sales.

Se determinó la conductividad eléctrica para las tres zonas de estudio. La tabla 8 (Tipos de suelo según los valores de pH obtenidos y valores de C.e.) presenta la variación de los valores de Ce. Como se puede observar, el SSP presentó los mayores valores de Ce, con respecto a las zonas de estudio AP y BUD. Por el contrario, el AP presentó los valores más bajos de Ce. Finalmente, el BUD presentó valores intermedios de Ce.

La densidad aparente del suelo es la relación entre la masa o peso del suelo seco (peso de la fase sólida) y el volumen total, incluyendo al espacio poroso. Flores y Alcalá (2010) Los

resultados de densidad aparente, registrados en la tabla 8, permiten establecer que los suelos son ideales para el crecimiento de raíces, ya que los valores para cada muestra se encuentran a $<1.4\text{gr}/\text{cm}^3$. De esta manera, los suelos analizados presentan importantes características, como buena porosidad, son suelos bien aireados y con buena capacidad de drenaje, ya que los valores obtenidos fueron bajos, afectando de manera positiva la composición y estructura del suelo.

Los valores de densidad aparente permiten la predicción de la transmisión de agua (Flores y Alcalá, 2010), por tanto, la figura 11, muestra la diferencia de los valores obtenidos entre las muestras realizadas, indicando que la muestra de AP presenta valores más altos ($0.82\text{ g}/\text{cm}^3$) comparados con los valores de las muestras de SSP y BUD, los cuales presentan valores de ($0.63\text{ g}/\text{cm}^3$) y ($0.79\text{ g}/\text{cm}^3$) respectivamente, permitiendo relacionar mayor capacidad de desarrollo vegetal en la zona de estudio del AP.

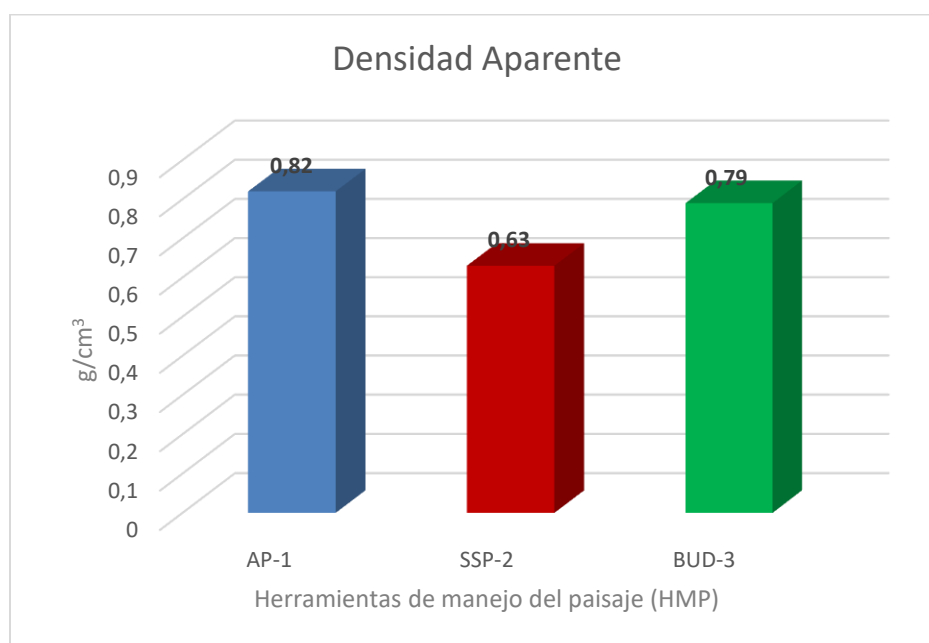


Figura 11. Densidad aparente. Fuente: Autor

Igualmente la densidad real juega un papel fundamental en la constitución de los suelos. Se define como el peso de las partículas sólidas del suelo, relacionado con el volumen que ocupa, sin tener en cuenta su organización en el suelo. La relación entre la densidad real y la densidad aparente ayuda a determinar la porosidad total del suelo. Se presenta los valores de densidad aparente y densidad real en la tabla 8.

Tabla 8. Valores de densidad aparente y densidad real

<u>Muestra</u>	<u>Densidad Aparente g/cm³</u>	<u>Densidad real g/cm³</u>
AP-1	0,82	2.22
SSP-2	0,63	2.18
BUD-3	0,79	2.19

Fuente: Autor

Es importante destacar la disponibilidad de agua en el suelo, entendiéndose, como la máxima cantidad disponible de agua que el suelo puede retener, esta cambia según la textura, el contenido de materia orgánica, la profundidad de enraizamiento y la estructura del suelo.

Cuando un campo se encuentra encharcado, el espacio de aire en el suelo se desplaza por el agua. Se denomina Capacidad de Campo (CC) a la cantidad de agua el suelo es capaz de retener luego de ser saturado y dejado drenar libremente evitando evapotranspiración y hasta que el potencial hídrico se estabilice (tras 24 a 48 horas de la lluvia o riego). El agua ocupando el espacio de los poros más grandes (macroporos) drena hacia capas inferiores bajo la fuerza de gravedad. Los poros más pequeños (microporos) se llenan de agua y los más grandes de aire y agua. El punto Capacidad de Campo corresponde a una succión de 1/3 bar. Las plantas deben producir una succión hasta 15 bares como máximo (FAO, 2019). A los 15 bares de succión la cantidad de agua en el suelo se denomina por el Punto de Marchitez

Permanente (PMP). A ese punto las plantas pierden la capacidad de succión y siguen perdiendo agua mediante la transpiración. Se pierde la turgencia de la planta resultando en su marchitez. Gráficamente la diferencia entre el Punto de Capacidad de Campo y el Punto de Marchitez Permanente resulta en el agua disponible para cultivo en mm o expresado porcentualmente. La textura del suelo influencia en la cantidad de agua en un suelo drenado hasta el punto de capacidad de campo y la cantidad que está disponible para las plantas. La humedad del suelo que se encuentra disponible se puede determinar en el laboratorio como se ilustra en las curvas de retención de humedad del suelo (FAO, 2019).

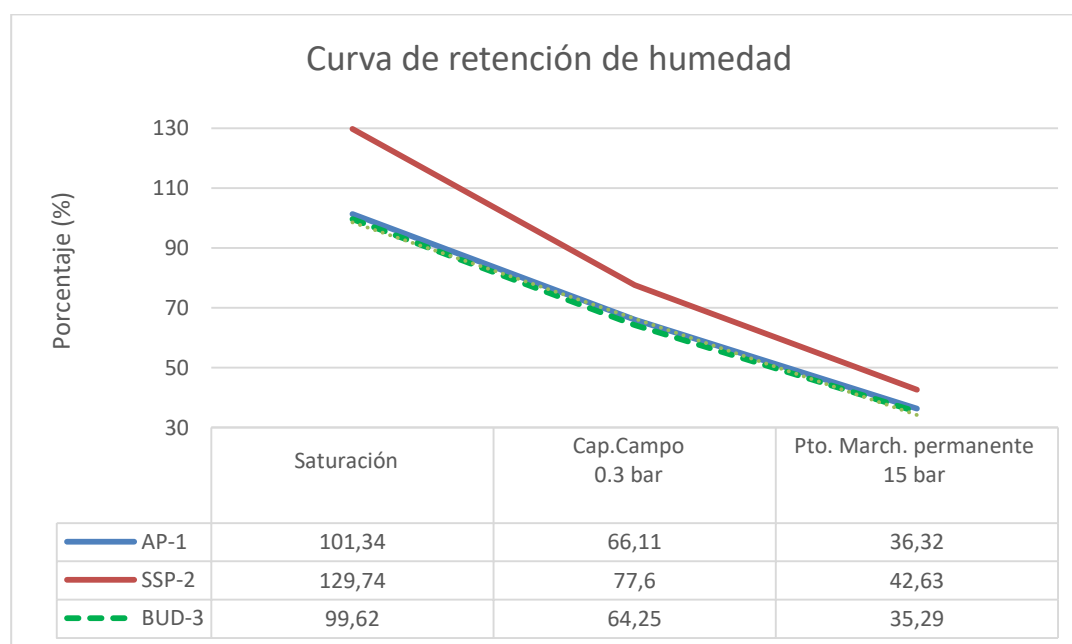


Figura 12. Curva de retención de humedad. Fuente: Autor

La figura 12 muestra la retención de humedad para las tres zonas de estudio, donde el porcentaje de saturación para el SSP es superior comparado con el AP y el BUD. En cuanto a la capacidad de campo los resultados indican porcentajes relativamente similares para el AP y el BUD, mostrando que el SSP continúa por encima de estas dos zonas de estudio. Con

relación al punto de marchites permanente las zonas de estudio muestran porcentajes cercanos entre ellos, señalando el comportamiento límite inferior de almacenamiento de agua.

Los resultados de BUD se relacionan con el valor de cantidad de arenas, indicando que la retención de agua es menor. Por lo tanto, el BUD por presentar mayor presencia de arenas, tiende a que el drenaje sea más rápido, lo que puede estar relacionado a la formación de suelos con arenas finas.

La humedad del suelo es muy dinámica y depende de diversos factores, tal como del clima, vegetación, profundidad del suelo. Se entiende por humedad del suelo a la masa de agua contenida por unidad de masa de sólidos del suelo. Flores y Alcalá (2010) refieren que la humedad del suelo influye en muchas propiedades físicas, tales como la densidad aparente, espacio poroso, compactación, penetrabilidad, resistencia al corte, consistencia, succión total de agua y color del suelo.

El estudio evalúa la humedad gravitacional, con base en la masa. Donde el porcentaje de humedad gravitacional para las muestras de SSP y BUD son muy similares, comparada con el valor obtenido para la muestra del AP, lo que indica, mayor capacidad de retención de agua para las muestras de SSP y BUD. Los valores de humedad gravitacional se muestran en la gráfica x. donde se muestra la relación entre la porosidad total del suelo.

La porosidad total del suelo posee un papel importante en la capacidad de retención de nutrientes, aireación, disponibilidad de agua, entre otros. Los espacios porosos del suelo representan el porcentaje del volumen del suelo no ocupado por sólidos. Donde en los espacios porosos se pueden diferenciar los macro poros y micro poros. Los macro poros son responsables del drenaje del agua, ya que no retienen agua contra la fuerza de la gravedad,

además responden por la aireación del suelo y componen los espacios donde se forman las raíces. Por otro lado, los microporos retienen agua, los que forman parte de la disponibilidad para las plantas. Entre los macro poros y micro poros agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse.

La reducción de la porosidad del suelo repercute en propiedades físicas desfavorables debidas a una menor aireación del suelo, menor capacidad de infiltración de agua y dificultad para la penetración de las raíces. La aparición de horizontes compactados dentro de un perfil puede deberse a procesos genéticos o deposicionales, o bien, puede ser una compactación creada por el paso de maquinaria, por el laboreo en condiciones de humedad inadecuadas, o por el paso repetido del arado a cierta profundidad, creando un piso de labor (piso de arado) en la base del horizonte A. Flores y Alcalá (2010)

La interpretación de los valores obtenidos se realiza mediante la figura 13.

Porosidad total (%)	Interpretación
< 30	Muy baja
30 – 40	Baja
40 – 50	Media
50 – 60	Alta
> 60	Muy alta

Figura 13. Valores orientativos de la porosidad total de un suelo y su interpretación. Fuente: Flores y Alcalá (2010)

La relación entre la porosidad total y la humedad gravimétrica están muy ligadas ya que una, obedece a la gravedad y fluye más rápidamente cuanto mayor es el volumen de los poros. Cuando el drenaje normal no tenga lugar, y que el agua de gravitación no pueda infiltrarse; entonces todos los poros del suelo están llenos de agua, lo que comúnmente se define como estado de saturación UNER (2015).

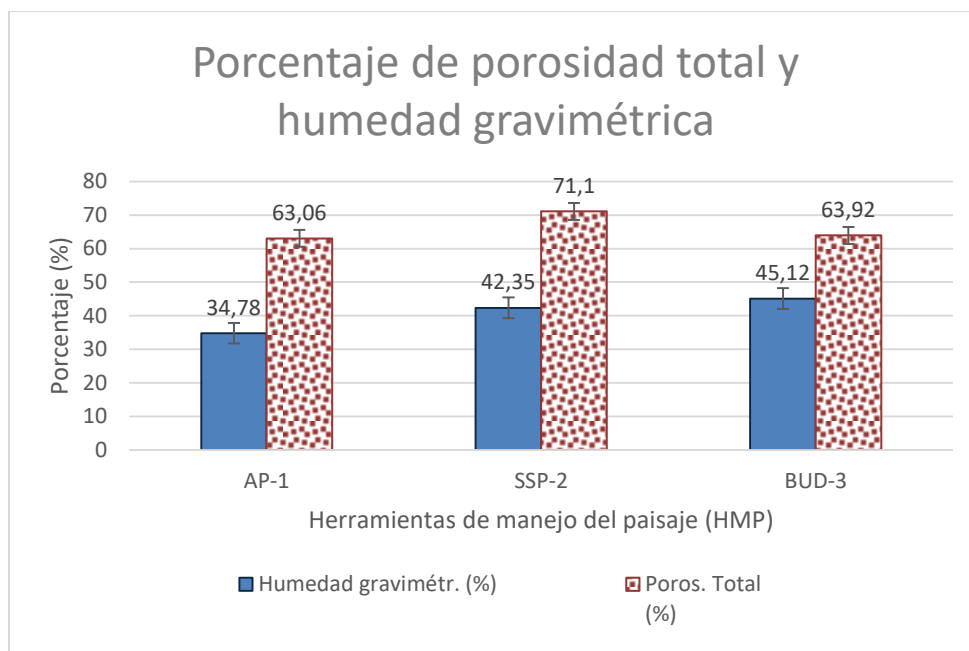


Figura 14. Relación porcentaje de porosidad total y la humedad gravimétrica. Fuente: Autor

Los valores de porosidad total y humedad gravimétrica del AP, se relacionan de manera conveniente en cuanto a la retención de agua. Sin embargo los valores en las muestras de SSP y BUD de humedad gravimétrica registraron mayores valores. Lo que indica menor porosidad con relación al porcentaje de porosidad total en las zonas de estudio. La relación entre el porcentaje de porosidad total y la humedad gravimétrica se muestran en la figura 14.

6.2.1 Determinación biológica en suelo (Macrofauna)

Con el método de muestreo de suelos para determinación biológica, se pudieron identificar de manera general dos especies para las HMP evaluadas. Las especies relacionadas fueron: Lombriz de tierra (Lumbricidae) y hormiga; probablemente de los Dolichaderinae. La tabla 9, muestra las especies encontradas en cada muestra y la cantidad de especies.

Tabla 9. Cantidad de especies (macrofauna) en monolito de suelo (623 cm³)

<u>Especies</u>	<u>Número de especies</u>		
	AP	SSP	BUD
Lombriz de tierra	1	8	5
Hormiga	0	100	1
Totales	1	108	6

Fuente: Autor

Teniendo en cuenta los totales obtenidos para cada una de las muestras de suelo realizadas a las HMP (AP, SSP y BUD), en la tabla 9, se observa que el SSP y BUD presentan mayor número de especies, comparada con el resultado de la muestra de suelo del AP. De la misma manera, se identifica que el SSP presenta mayor cantidad de especies.

Las tres muestra de suelo realizadas a las HMP (AP, SSP y BUD) coinciden en la presencia de una misma especie; Lombriz de tierra, lo cual indica suelos con buena ventilación y fertilización. Las lombrices de tierra introducen materia orgánica en sus madrigueras de la superficie y al “gusano moldes” el cual es excretado por ellas. Charles Darwin estimó que una población de lombrices de tierra movía 100 toneladas de suelo por hectárea en un año. (BIOPEdia, 2019).

El índice de Simpson permite calcular la riqueza de especies en un hábitat. Los resultados registrados en la tabla 10, indican para las tres muestras de suelo realizadas en las zonas de estudio, que el índice de dominancia de Simpson es mayor que el índice de biodiversidad. De la misma manera, se puede identificar que el AP, presenta el índice de dominancia de Simpson mayor que el SSP y BUD.

Tabla 10. Índice de dominancia de Simpson

	<u>Índices</u>	<u>Totales</u>		
		AP	SSP	BUD
1-D = Índice de biodiversidad		0	0,13	0,27
D = Índice de dominancia de Simpson		1	0,86	0,72

Fuente: Autor

Los resultados de índice de dominancia de Simpson e índice de biodiversidad, son inversamente proporcional, lo que quiere decir, que cuando una magnitud incrementa la otra disminuye en la misma proporción, y al incrementar la primera la segunda aumenta en la misma proporción.

En Puerto Rico, González y colaboradores (2007). “describieron las comunidades de lombrices a lo largo de un gradiente de elevación conteniendo ocho tipos de bosques del noroeste de la Isla. El propósito del estudio fue determinar si la abundancia, biomasa o biodiversidad de las lombrices están relacionadas con factores climáticos, propiedades químicas y físicas o características bióticas del suelo. Ellos encontraron que la densidad, la biomasa, y la diversidad de las lombrices de tierra varían perceptiblemente entre los diferentes tipos de bosques” (p 203).

En cuanto a la funcionalidad, “las lombrices de tierra modifican la distribución y abundancia de las comunidades bacterianas y fúngicas dentro del suelo, contribuyen al mejoramiento de su estructura y función al incorporar materia orgánica, formar agregados y mover partículas, influyendo así en la porosidad, aeración, infiltración y fertilidad; como consecuencia, promueven el crecimiento y productividad de las plantas” (Ortiz y Ortiz, 2018, p.13).

6.3 Identificación de diferentes problemáticas para la matriz de Vester

Como resultado del trabajo de investigación y análisis del estudio, se identificaron las siguientes problemáticas asociadas a las herramientas de manejo del paisaje:

1. Desconocimiento del concepto HMP en la comunidad
2. Falta de información técnica de los SE
3. Participación comunitaria en procesos de restauración ecológica
4. Falta de programas de socialización y capacitación en implementación de HMP
5. Inversión pública y privada para procesos de restauración ecológica
6. Procesos de degradación del suelo (Física, química y biológica)
7. Pérdida de la composición florística
8. Fragmentación de los ecosistemas
9. Migración de nuevas generaciones del campo a las ciudades
10. Escasa capacidad de preservar las HMP

Con la matriz de Vester se clasificaron los problemas de acuerdo al tipo de relaciones para determinar quién es causa y quién es efecto.

En la figura 7 se muestra su representación gráfica, con la caracterización de los problemas, donde se observa la mediana como el centro de gravedad para el total activo y pasivo, dividido en cuatro cuadrantes que representan cada tipo de problema.

Se puede establecer que no se identificaron problemas críticos o centrales a tener en cuenta, pero se identifican una serie de problemas activos o causas, es decir aquellos problemas de alta influencia sobre la mayoría de los restantes, por lo que requieren atención y manejo esencial, entre estos resultaron: El desconocimiento del concepto herramientas de

manejo del paisaje (HMP) en la comunidad, la falta de información técnica de los servicios ecosistémicos (SE) y la fragmentación de los ecosistemas.

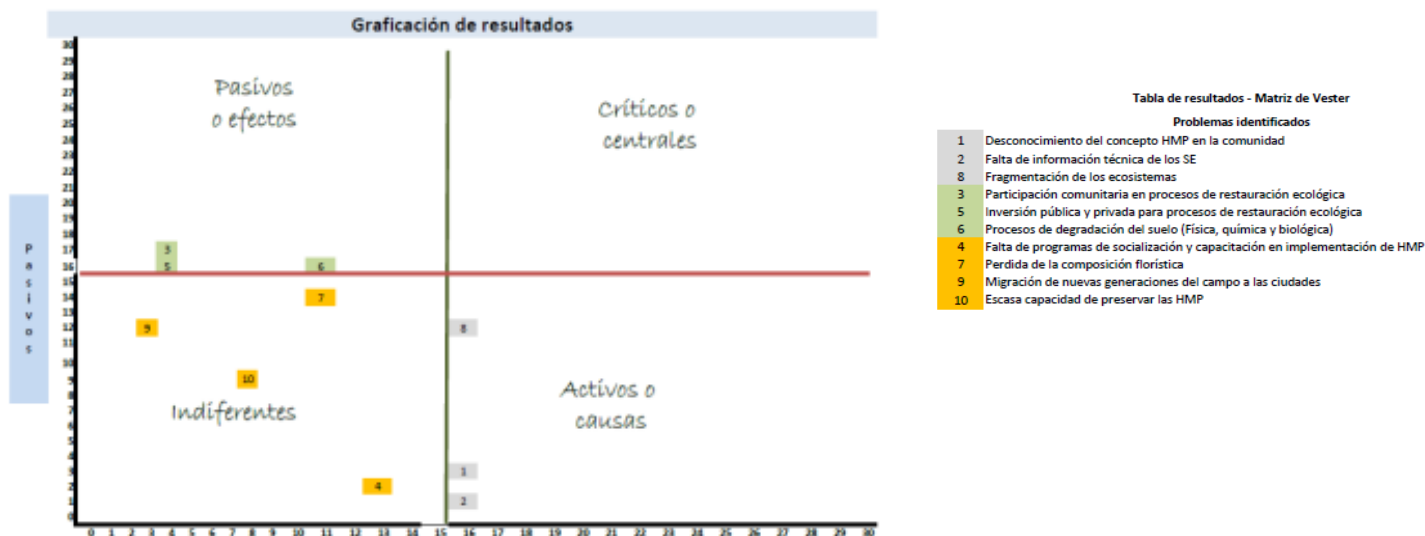


Figura 15. Representación gráfica de los resultados de la matriz de Vester. Fuente: Autor

El desconocimiento del concepto herramientas de manejo del paisaje en la comunidad, está relacionado de forma negativa, ocasionando en la mayoría de los casos confusión sobre la aplicación e implementación de las herramientas, entre las dificultades se presenta el reconocimiento del territorio para el desarrollo de procesos enfocados a la conservación. Lozano et al. (2009) afirma “Que el esquema de planeación para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales articula el abordaje, desde la escala de paisaje de las características biofísicas y desde la escala predial (local) de las características socioeconómicas, como componentes principales para generar una propuesta de ordenamiento para la conservación de la biodiversidad en un territorio rural” (p.16) La comprensión de conceptos permite la visualización de escenarios completos, ayudando al establecimiento adecuado de las HMP, con características esenciales que las definen.

Por otro lado, el problema de la falta de información técnica de los servicios ecosistémicos, asociado a las herramientas de manejo del paisaje, produce un vacío que genera poco interés provocando procesos superficiales que ocasionan pérdidas o daños en los procesos de restauración ecológica mediante las herramientas de manejo del paisaje. Los servicios ecosistémicos son el vínculo conceptual entre los ecosistemas, sus componentes y procesos y los beneficios que las sociedades obtienen de los ecosistemas (Boyd y Banzhaf 2007).

La oferta del servicio, el consumo o disfrute del servicio y el valor que otorga la sociedad son conceptos distintos (Tallis et al.2011). La oferta del servicio sucede mediante la relación recíproca entre los componentes de los ecosistemas y origina los beneficios latentes que las comunidades pudieran obtener de éstos. El consumo o disfrute del servicio se refleja a través de la interacción directa de las comunidades (personas); “éste incluye la cantidad de agua que se consume para la agricultura o el número de personas que se benefician de la regulación de inundaciones” (Balvanera, 2012, p.137). El valor lo aplican las comunidades cuando admiten claramente la asociación entre los ecosistemas y su bienestar. Este valor puede ser económico, cultural o social; usualmente es la valoración económica, aunque esto no representa su importancia relativa.

Por otra parte, la fragmentación de los ecosistemas presenta gran asociación a las herramientas de manejo del paisaje desde el punto de vista de conservación, debido a la importancia en su implementación y planteamiento de la aplicación de las mismas. Esta problemática está ligada a los disturbios antrópicos provocados por diferentes actividades económicas, entre estos; la deforestación, sistemas productivos agrícolas (monocultivo), ganadería extensiva, entre otros. Estos disturbios afectan enormemente todos los componentes

de los ecosistemas y las condiciones climáticas, afectando directamente la composición, estructura y comportamiento de la biota y del suelo, así como la dinámica general de cada proceso natural, lo cual generan la disminución de producción de beneficios que las personas obtiene de estos, creando lo que comúnmente conocemos como comunidades propias de sucesiones secundarias o desviadas (ecosistemas degradados).

A partir de los análisis espaciales y la reconstrucción de la historia ambiental (procesos de colonización, tenencia de la tierra, expansión de la frontera agropecuaria, etc.), se ha conocido el impacto que han tenido las actividades antrópicas sobre la transformación de hábitats y ecosistemas naturales (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, 2010).

Esto nos permite construir los lineamientos para el ordenamiento y cuidado del medio ambiente a través de la aplicación y establecimiento de diferentes mecanismos, como lo son las herramientas de manejo del paisaje.

7. Conclusiones

La implementación del AP en la zona de estudio presenta gran importancia debido a su función de defensa que ejerce para el relicto de bosque aislado, donde existe la presencia de especies como: la *Myrsine guianensis*, conocida con su nombre común como, Chagualo. La *Myrsine guianensis* es una especie nativa, lo que la convierte en una especie de gran interés debido a su importancia ecológica, lo cual logra reducir en un grado moderado, el riesgo en la pérdida de los servicios ecosistémicos de la zona de estudio.

Los resultados obtenidos del dendrograma muestran la similitud que existe entre las especies florísticas encontradas en las diferentes parcelas realizadas en las HMP del SSP y BUD. Donde las especies predominantes son, la *Poa pratensis* y *Pennisetum clandestinum*.

Se encontró que los suelos de las tres HMP (AP, SSP y BUD), registraron valores de pH entre 5 y 6,5 lo que los hacen suelos óptimos para el establecimiento de cultivos. En cuanto a las propiedades físicas se determinó que el AP y SSP, presentan un tipo de suelo franco, donde los análisis de las muestras indican la presencia de una textura media. Mientras que el BUD presentó un tipo de suelo franco arenoso, presentado una textura moderadamente gruesa; indicando que los suelos del AP y SSP presentan condiciones adecuadas para la producción agrícola, debido a su equilibrado porcentaje de arenas, limos y arcillas.

Se determinó que el SSP presentó propiedades químicas y físicas favorables como servicio ecosistémico de soporte debido a sus óptimos resultados relacionados con la

actividad productiva que se realiza en esa zona del predio. Las condiciones encontradas en la zona muestran procesos ecológicos positivos para las tres muestras, considerando el ciclo del agua, el flujo de energía, la producción primaria, la formación del suelo y el ciclado de nutrientes.

En cuanto a los resultados de la matriz de vester se identificaron problemas activos o causas, es decir aquellos problemas de alta influencia sobre la mayoría de los restantes, por lo que requieren atención y manejo esencial, entre los problemas identificados asociados a las HMP, se encontraron: El desconocimiento del concepto herramientas de manejo del paisaje (HMP) en la comunidad, la falta de información técnica de los servicios ecosistemicos (SE) y la fragmentación de los ecosistemas.

Se determinó que los problemas identificados son de alta influencia sobre la mayoría de los problemas restantes pero no son causados por otros.

8. Recomendaciones

Es necesario realizar estudios detallados sobre propiedades de los suelos y crecimiento de las plantas sembradas en las áreas de intervención, durante un lapso de tiempo moderado, para evaluar las diferentes características, y así determinar la importancia ecológica y los tiempos de restauración en áreas específicas.

Capacitar a las personas involucradas en el proyecto sobre las diferentes estrategias de restauración ecológica, por medio de entidades ambientales apoyadas por las instalaciones de ejecución del proyecto, en el tiempo designado para el desarrollo del mismo, para garantizar el éxito de los objetivos establecidos en el proyecto, donde se beneficia a la comunidad en general por la apropiación y fortalecimiento de los recursos naturales pertenecientes al lugar de estudio.

Trabajar en mejorar la capacidad de comprender del funcionamiento y beneficios de las HMP en las personas vinculadas al proyecto: propietarios, administradores, obreros y concertadores, más allá de su estructura y composición.

Extender los estudios expuestos en este proyecto aplicado al diseño de planes de restauración ecológica, monitoreo y control de los servicios ecosistémicos en diferentes zonas de implementación de HMP.

9. Referencias bibliográficas

Anderson, J., & Ingram, J. (1993). Tropical Soil Biology and Fertility. A Handbook of Methods (Second Edition ed.). Reino Unido: CAB International.

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. ecosistemas, 137.

Balvanera, P. (2012). Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. ecosistemas, 137-137.

Bosch, M., Costa, J., Cabria, F y Aparicio, V. (2012). Relación entre la variabilidad espacial de la conductividad eléctrica y el contenido de sodio del suelo. CI. SUELO (ARGENTINA) 30(2): 95-105, 2012

Boyd, J., Banzhaf, S. 2007. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units. Ecological Economics 63:616-626.

Caro, C., y Torres, M. (2015). Servicios ecosistémicos como soporte para la gestión de sistemas socioecológicos: aplicación en agroecosistemas. ORINOQUIA - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia Vol. 19 - No 2.

Cámara de comercio. (2016). Tuluá. Recuperado de https://camaratulua.org/area_influencia/tulua/

Chiimbila, J. C. (2009). Aplicación de la matriz de Vester. Obtenido de <https://www.monografias.com/trabajos72/aplicacion-matriz-vester/aplicacion-matriz-vester2.shtml>

Clusia multiflora. (s.f.). En Wikipedia. Recuperado el 16 de enero de 2020 de https://es.wikipedia.org/wiki/Clusia_multiflora

Daily, G., Ed.(1997). Nature's services: societal dependence on natural ecosystems. Washington, D.C., Island Press.

FAO, 2001. Soil carbon sequestration for improved land management. World soil reports 96. Rome, 58 p.

FAO. 2017. Mapa de carbono orgánico del suelo. Grupo técnico de intergubernamental del suelo. 1 p.

FAO, 2019. Propiedades Físicas del Suelo. La Disponibilidad del Agua en el Suelo. 1p.

Flores-Alcalá, L. J. (2010). Manual de procedimientos analíticos. Mexico D.F.

Garrido, V. M. (1994). Interpretación de análisis de suelos. Hojas divulgadoras, (5), 21.

Gonzalez, G. 2015. Ecología de las lombrices de tierra. Pages 201-206 in Joglar, R.L.; Santos Flores, C. J.; Torres Perez, J.L. Biodiversidad de Puerto Rico: Invertebrados. Serie de Historia Natural. San Juan, PR: Proyecto Coqui.

Hernandez, J. (2015). Catedra de edafología. Facultad de ciencia agropecuarias. 3 p.

Escobar, N. (2013). Diagnóstico de la Composición Florística Asociada a Actividades Agropecuarias en el Cerro Quinini (Colombia). *Revista Ciencias Agropecuarias*. Universidad de Cundinamarca, 1(1), 10-28.

IDEAM. (2012). *Inventario Nacional y Departamental de Gases de Efecto Invernadero - Colombia*. Bogotá D.C.

IDEAM. (2015). *Estudio Nacional del Agua*. Bogotá D.C.

IDEAM. (2017). *Tasa anual de deforestación según departamento. Resultados consolidados entre 1990-2017*. Bogotá D. C.

Instituto Humboldt. (2017). *Biodiversidad colombiana: números para tener en cuenta*. BOGOTÁ D.C.

LAL, R., ECKERT, D. J., FAUSEY, N. R., EDWARDS, W. M., 1990. Conservation tillage in sustainable agriculture. In: C. A. Edwards, R. Lai, P. Madden, R. H. Miller and G. House, *Sustainable Agriculture Systems*. Soil and Water Conservation Society, Iowa, USA, pp. 203-225.

LAL, R., 1997. Residue management, conservation tillage and soil restoration for mitigating greenhouse effect by CO₂ - enrichment. *Soil Till. Res.* 43, 81-107.

Laboratorio de Sistemática de Plantas vasculares. (2017). *MELASTOMATACEAE* Juss. DEPTO. De ECOLOGÍA & CIENCIAS AMBIENTALES. FACULTAD DE CIENCIAS. UDELAR.

Laboratorio de Sistemática de Plantas vasculares. (2017). POLYGALACEAE Hoffmanns. & Link. DEPTO. De ECOLOGÍA & CIENCIAS AMBIENTALES. FACULTAD DE CIENCIAS. UDELAR.

Lozano-Zambrano, F. H. (2009). Herramientas de manejo para la conservación de biodiversidad en paisajes rurales. Bogotá D.C.

MEA 2005. Ecosystems and human well-being. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D.C., USA.

MEA 2003. Ecosystems and Human Well-being: a Framework for Assessment. Millennium Ecosystem Assessment. Island Press, Washington, D.C., USA.

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2015). Plan Nacional de Restauración. Bogotá, D.C., Colombia.

(MINAMBIENTE, 2009) Estrategia Integral de Control a la Deforestación y Gestión de los Bosques – EICDGB. Bogotá, D.C., Colombia.

(MINAMBIENTE, 2015). Plan nacional de restauración. Restauración Ecológica, Rehabilitación y Recuperación de Áreas Disturbadas. Bogotá, D.C., Colombia.

Ortiz, D., y Ortiz, A. (2018). Belleza extravagante y funcionalidad: Lombrices de tierra. researchGate. (138), 1870-1760

Poveda, M. A. (2016). Contextualización histórica del concepto de paisaje, sus implicaciones filosóficas y científicas. Filosofía, 12.

Quijas, S., Schmid, B., Balvanera, P. 2010. Plant diversity enhances provision of ecosystem services: a new synthesis. *Basic and Applied Ecology* 11:582–593.

Secretaría Distrital de Ambiente. (2019). *Arbolado4*. Recuperado de http://www.ambientebogota.gov.co/web/sda/search?p_p_id=3&p_p_lifecycle=0&p_p_state=maximized&p_p_mode=view&p_p_col_id=column-2&p_p_col_pos=1&p_p_col_count=3&_3_struts_action=%2Fsearch%2Fsearch

Torres, P. G. (2017). Interpretación del análisis de suelos y recomendaciones de fertilización. In SlideShare. Recuperado de <https://www.slideshare.net/joguitopar/interpretacion-de-un-analisis-de-suelos-78466341>

Tallis, H., Lester, S. E., Ruckelshaus, M., Plummer, M., McLeod, K., Guerry, A., Andelman, S., Caldwell, M. R., Conte, M., et al. 2011. New metrics for managing and sustaining the ocean's bounty. *Marine Policy* 36:303-306.

Villardón, J. L. (2019). INTRODUCCION AL ANALISIS DE CLUSTER. Departamento de Estadística Universidad de Salamanca. Recuperado de <http://benjamindespensa.tripod.com/spss/AC.pdf>

Warrick, A & DR Nielsen.1981. Spatial variability of soil physical properties in the field. In: Hillel D. *Practical Applications of Soil Physics*: pp. 319-344.

10. Anexos

Anexo 1. Descripción de metodología de laboratorio

- pH

Es una medida de la acidez o alcalinidad en los suelos, en el laboratorio se determina en relación 1:1, lo que significa 50 g de suelo y 50 ml de agua destilada, dejando en reposo durante 1 hora para luego hacer la lectura con el potenciómetro.

- Conductividad eléctrica (CE)

La concentración de sales solubles presentes en la solución del suelo se mide mediante la conductividad eléctrica (CE). La conductividad eléctrica es la medida de la capacidad de un material para conducir la corriente eléctrica, el valor será más alto cuanto más fácil se mueve la corriente a través del mismo. Esto significa que, a mayor CE, mayor es la concentración de sales. En el laboratorio la conductividad eléctrica (CE) se calcula formando una mezcla de suelo/agua en relación 1:2, la muestra fue agitada por 30 minutos y se dejó reposar por el mismo tiempo de agitación, para mide con el conductímetro la conductividad.

- Porcentaje de Materia Orgánica (% M.O.)

Este método se basa en la oxidación del carbono orgánico del suelo por medio de una disolución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Después de un cierto tiempo de espera la mezcla se diluye, se adiciona ácido fosfórico para evitar interferencias de Fe^{3+} y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso.

Generalmente se pesa la muestra de suelo seco, pasado por un tamiz de 0.5 mm y se coloca en un matraz Erlenmeyer. Se procesa un blanco con reactivos por triplicado. Posteriormente se adiciona dicromato de potasio 1 N girando el matraz cuidadosamente para que entre en contacto con todo el suelo. Se agrega con una bureta H₂SO₄ concentrado a la suspensión, girar nuevamente el matraz y agitar de esa forma durante un minuto. Se deja reposar por 30 minutos sobre una lámina de asbesto o sobre una mesa de madera, se deben de evitar las mesas de acero o cemento. Después de dejar reposar se añade agua destilada, H₃PO₄ concentrado e indicador de difenilamina. Se titula con la disolución de sulfato ferroso gota a gota hasta un punto final verde claro. Las cantidades de cada solución se determinan con base a la cantidad de la muestra de suelo.

- Porcentaje de Carbono Orgánico (% C.O.)

Es el resultado de las descomposiciones de cualquier tejido orgánico y se puede determinar por ignición, combustión húmeda. En este caso el porcentaje de carbono orgánico se determinó por los resultados obtenidos del porcentaje de materia orgánico, para cada una de las muestras. Mediante la ecuación $\%CO = (\%M.O)/1.724$

- Textura

Se refiere a la relación de partículas que posee un suelo expresadas en porcentaje, Arena, Limos y Arcillas. La textura del suelo se determinara por medio del método de bouyoucos. Este método es basado en la Ley de Stokes, que tiene que ver con la velocidad de caída de una partícula en un medio asumiendo que esta es esférica.

En el laboratorio se muele el suelo con un rodillo de madera y se pasa por un tamiz de 2 mm, de este suelo se toman 50 g y se llevan a una copa de dispersión para agregarle 20 ml de hexametáfosfato de sodio y carbonato de sodio y 400 ml de agua corriente

Se coloca en la maquina agitadora durante 15 minutos, luego se traslada a un cilindro de sedimentación de 1000 ml con la ayuda de un frasco lavador, se completa a volumen, luego con una varilla agitadora la cual tiene perforaciones en su base se remueve todo el material que se ha sedimentado, desde el momento que sacamos la varilla agitadora contabilizamos 20 segundos, transcurrido este tiempo introducimos el hidrómetro o densímetro durante otros 20 segundos para hacer la primera lectura del hidrómetro, habiendo realizado la lectura del hidrómetro , introducimos el termómetro y leemos la temperatura, hecho esto dejamos esta solución en reposo durante 2 horas para hacer la segunda lectura del hidrómetro y la temperatura teniendo el cuidado de no volver a agitar la muestra.

- Color

El color del suelo es una propiedad física relacionada con la longitud de onda del espectro visible que el suelo refleja al recibir los rayos de luz.

Para determinar el color se toma una muestra de suelo secada al aire y se coloca sobre una placa de porcelana. Se compara el color de la muestra con el de las tablas estándar hasta obtener las tres propiedades del color del suelo: matiz, brillo, e intensidad cromática. Posteriormente, se humedece la muestra de suelo en la placa de porcelana y se compara, nuevamente, con las tablas estándar. Conviene reportar el color del suelo en seco y en húmedo, y realizar las comparaciones con las cartas de color bajo una intensa luz solar. (Flores y Alcalá, 2010).

- Humedad Gravitacional

La humedad se determinara por medio del método gravimétrico, el cual consisten en tomar una muestra de suelo, pesarla antes y después de su desecado y calcular su contenido de humedad.

- Densidad Real

Se refiere al peso del material solido que compone el suelo se determinó por el método del picnómetro. Donde se coloca una cantidad de suelo molido y tamizado a la estufa a 105 °C durante 24 horas, después de este tiempo llévelo un desecador al vacío para que se enfríe la muestra sin tomar humedad del ambiente, Pese el picnómetro vacío y luego agréguele 5 g de suelo y agréguele agua destilada hasta la mitad del volumen del picnómetro, luego llévelo a la bomba de vacío durante 15 minutos. Pasado este tiempo retírelo y complételo a volumen y péselo, luego lave bien el picnómetro y complételo a volumen con agua destilada y pese nuevamente.

- Densidad Aparente

La Densidad Aparente de un suelo es relación entre el volumen y el peso seco, incluyendo poros que contenga en la densidad aparente, se tiene en cuenta el arreglo estructural del suelo. Para determinar la densidad aparente se utiliza el método del nucleo. Donde se toma una muestra con anillos o cilindros, se enrazan, se pesa y luego se lleva a la estufa durante 24 horas a 105 °C, después de este tiempo se saca y se introduce en un desecador para que se enfríe la muestra para posteriormente pesarla con el anillo, después se pesa el anillo solo, se le mide el diámetro y la altura para luego calcular el volumen y así poder reportar una densidad a un contenido de humedad.

DA= Peso del suelo seco/volumen del cilindro

Esta determinación es de mucha utilidad ya que nos permite conocer el grado de compactación del suelo y así poder definir como es el drenaje y el tipo de maquinaria a utilizar, también es de utilidad para calcular la lámina de agua para riego, y conocer el peso de la hectárea ya que esta es de importancia para la interpretación de los análisis de suelos y la cantidad de nutrientes a aplicar

- Porosidad total

Se define como la porción de su volumen no ocupado por partículas sólidas, este volumen varía dependiendo de la disposición de las partículas.

Esta se puede medir en forma directa suponiendo que es igual a la humedad de saturación, la reducción de la porosidad del suelo repercute en las características físicas debido a una menor aireación por lo tanto también menor movimiento de agua y dificultad para la penetración de las raíces. Se calcula mediante la fórmula:

Determinaciones complementarias

- Capacidad de campo

Se refiere a la cantidad de agua que puede retener un suelo cuando se pierde el agua gravitacional de flujo rápido, después de pasados unos dos días de las lluvias (se habrá perdido algo de agua por evaporación). La fuerza de retención del agua variará para cada suelo, pero se admite generalmente una fuerza de succión de 1/3 de bar

Para determinar la capacidad de campo se toman muestras inalteradas con él toma muestra y se colocan en el plato de cerámica, luego se llevan a saturar durante 24 horas,

después de este tiempo se lleva el plato o cerámica a la olla se asegura bien y se precede a aplicar la presión que para este caso es equivalente a 1/3 bar, durante 48 horas.

Después de haber estado las muestras a la presión requerida durante 48 horas y habiendo observado que el agua no sigue saliendo, se toma la muestra y se traslada a un recipiente de aluminio se pesa húmedo y luego se lleva a la estufa a 105 °C durante 24 horas para luego pesarla seca y proceder a calcular el contenido de humedad.

Fórmula para calcular el contenido de humedad: $\%H=(psh-pss)/pss*100$

- Punto de marchitamiento

Representa cuando el suelo se deseca a un nivel tal que el agua que queda está retenida con una fuerza de succión mayor que las de absorción de las raíces de las plantas. Es el agua que queda a una presión de 15 atmósferas. El valor de este parámetro se puede obtener aplicando al suelo una tensión de -1500 kPa.

- Agua aprovechable

Es representada haciendo la diferencia entre el contenido de humedad a capacidad de campo menos el contenido de humedad a punto de marchites permanente. Para calcular la Lara se tiene en cuenta el agua aprovechable, la densidad aparente y la profundidad en mm.

$$AA= CC-PMP$$

$$LARA= AA/100*Dap/Dagua*prof\text{ mm}$$

Retención de humedad del suelo a diferentes tensiones

Muestra la evolución que tiene el contenido de agua con la absorción del suelo, esta depende de la estructura, textura y la materia orgánica, esta forma parte de la caracterización hidráulica del suelo siendo esta única por cada suelo, de esta caracterización se pueden se pueden determinar parámetros físicos muy importantes como el punto de saturación, la capacidad de campo, el punto de marchitez permanente, la conductividad hidráulica.

- Conductividad hidráulica

Esta se refiere a la velocidad con que el agua se mueve a través de la masa de suelo, este parámetro depende de la porosidad del suelo. La determinación de la conductividad hidráulica en la laboratorio se realizó, tomando una muestra con el barrenado de núcleo, la emparejamos teniendo el cuidado de no taponar los poros, se lleva al laboratorio para colocarle una gasa en la parte inferior del anillo sostenida con una banda de caucho, se coloca a saturar en una bandeja con agua durante 24 horas, pasado ese tiempo le colocamos otro anillo en la parte superior y lo unimos con una cinta de enmascarar teniendo el cuidado de que no quede ningún tipo de filtración, hecho esto trasladamos la muestra al permeámetro y conectamos las mangueras que nos van a sostener el nivel del agua constante, para hacer la medición cogemos una probeta y un cronometro, colocamos la probeta en la parte inferior del permeámetro y tan pronto haya paso de agua ponemos a funciona el cronómetro y recogemos un volumen de agua en un tiempo determinado.

Obtenidos estas lecturas de volumen en un tiempo procedemos a calcular la conductividad de la siguiente formula.

$$K = \frac{(v \cdot l)}{(t \cdot A \cdot (1 + h))}$$

Estabilidad de agregados

Es una forma de medir como es el comportamiento de la estructura del suelo frente al agua, esta determinación es muy importante más que todo para los suelos de ladera ya que nos permite medir la dificultad o facilidad de la erosión en el suelo que puede ser masal o laminar o cualquier tipo de erosión presente en él.

Para determinar la estabilidad de agregados se utilizó el método de yoder, donde el procedimiento para su determinación se realizó, pasando la muestra de suelo por los de tamices de 4mm y 8mm, de este suelo se toman 25 gramos y se llevan a un juego de tamices

Tamiz	diámetro
10	2 mm
20	0.84 mm
35	0.5 mm
60	0.25 mm

Este juego se coloca en un soporte y se coloca en el equipo de yoder introduciéndolos un balde con agua, se colocó el suelo en pre humedecimiento durante 15 minutos en el tamiz 10, transcurrido ese tiempo se procede a hacer una agitación vertical durante 30 minutos y luego de ese tiempo trasladamos lo que haya quedado en cada tamiz a cajas de aluminio previamente pesadas, luego se lleva a la estufa a 105°C durante 24 horas, pasado ese tiempo se coloca en un desecador al vacío y para que la muestra se enfríe sin tomar humedad del ambiente, pese, anote los datos obtenidos en los formatos usados para este fin y proceda a calcular los porcentajes de agregados por cada tamiz.

El índice de estabilidad es la suma de los porcentajes de los tamices intermedios sobre los extremos, siendo este el valor que se interpreta para proceder alguna recomendación sobre el uso y manejo de un determinado suelo.

Anexo 2. Materiales y equipos de laboratorio

1. Materiales y equipos para el muestreo de suelos para determinar las propiedades químicas y físicas.

- Machete
- Palin ahoyador
- Decámetro
- Bolsas plásticas
- Guantes
- Cámara fotográfica

2. Materiales y equipos para la caracterización vegetal

- Decámetro
- Estacas de madera
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo

3. Materiales y equipos para el análisis de laboratorio de las muestras de suelo para determinar las propiedades químicas y físicas.

3.1 Textura

Materiales

- Hidrómetro
- Tamiz de 2 mm
- Maquina dispersora
- Varilla agitadora
- Cilindros de 1000 ml
- Balanza

Reactivos

- Solución de hexametáfosfato de sodio + carbonato de sodio

3.2 Densidad real

Materiales

- Picnómetros de 25 ml
- Bomba de vacío
- Balanza con 2 decimales
- Suelo tamizado (2 mm) y seco en estufa (110° C)

- Gotero

Reactivos

- Agua destilada

3.3 Densidad Aparente

Materiales

- Toma muestra
- Anillos
- Espátula
- Balanza
- Estufa

3.4 Capacidad de campo

Materiales

- Olla de presión
- Cerámicas de 1 bar
- Anillos de acero de 1 cm de alto y 5 cm de diámetro
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Estufa para secar suelos a 110° C

- Cajas de aluminio
- Compresor de aire con capacidad para 300 psi, con regulador de presión

3.5 Punto de marchitamiento

Materiales

- Plato de presión
- Cerámicas de 15 bares
- Anillos de acero de 1 cm de alto y 5 cm de diámetro
- Balanza con aproximación de 0.01 gr
- Estufa para secar suelos a 110° C
- Cajas de aluminio
- Compresor de aire con capacidad para 300 psi, con regulador de presión

3.6 Conductividad hidráulica

Materiales

- Toma muestras tipo Uhland
- Anillos de acero inoxidable
- Permeámetro de cabeza constante
- Embudos

- Probetas graduadas de 100 ml
- Cronometro

Reactivos

- Agua corriente

4. Materiales y equipos para el muestreo de macrofauna edáfica

- Machete
- Palin ahoyador
- Envases plásticos
- Guastes
- Tapabocas
- Cámara fotográfica
- Libreta de campo